

S.G.C. E78 GROSSETO – FANO

Tratto Siena Bettolle (A1)

Adeguamento a 4 corsie del tratto Siena – Ruffolo (Lotto 0)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI-81

R.T.I. di PROGETTAZIONE: Mandataria Mandante



PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Formichi – Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Riccardo Formichi – Pro Iter srl
Ordine Ing. di Milano n. 18045

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Massimo Mezzanzanica – Pro Iter srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Enrico Moretti – Erre.vi.a. srl
Ordine Ing. di Milano n. 16237

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. Raffaele Franco Carso



PROTOCOLLO

DATA

01 - PARTE GENERALE

Relazione Trasportistica

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00EG00GENRE03B.pdf		
DPFI0081	D	20	CODICE ELAB. T00EG00GENRE03	B	-
D					
C					
B	Revisione per istruttoria ANAS		Maggio 2021	BADALACCO	VIGANO' FORMICHI
A	Emissione		Ottobre 2020	BADALACCO	VIGANO' FORMICHI
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

STUDIO TRASPORTISTICO PER IL POTENZIAMENTO DEL LOTTO 0 DELLA STRADA STATALE E78 NEL COMUNE DI SIENA



Redatto da

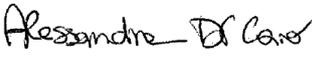


Piazza IV novembre, 4
20124 Milano (MI)
Tel. 02 00 62 09 18

OTTOBRE 2020

Redatto per



Gruppo di lavoro:	
Ing. Carlo CARUSO	
Ing. Stefania MADEO	
Ing. Alessandra DI CARO	

INDICE

1	INTRODUZIONE	1
2	OBIETTIVI E ATTIVITÀ DELLO STUDIO	5
3	DATI DI INPUT	7
3.1	Rilievi di traffico	7
3.1.1	Rilievi manuali del traffico veicolare.....	7
3.2	Dati FCD	13
3.2.1	Validazione dati FCD.....	13
3.3	Composizioni veicolari.....	14
4	ANALISI MACRO	17
4.1	La zonizzazione territoriale.....	17
4.2	La rete infrastrutturale	18
4.3	Le principali banche dati di riferimento	20
4.4	La validazione del modello di traffico	23
4.5	Risultati delle macrosimulazioni.....	24
4.5.1	Stato di fatto (SDF).....	24
4.5.2	Tasso di crescita	46
4.5.3	Scenario progettuale (SDP).....	46
5	ANALISI MICRO	73
5.1	Le performances di sintesi.....	73
5.2	Analisi delle code	74
5.3	Immagini della microsimulazione	75
6	VERIFICA FUNZIONALE DELLE TRATTE STRADALI E DEGLI SVINCOLI	80
6.1	Metodologie di calcolo.....	84
6.2	Metodologia di calcolo segmenti stradali ad una carreggiata.....	84
6.3	Metodologia di calcolo segmenti stradali a carreggiate separate.....	84
6.4	Metodologia di calcolo corsie specializzate di accelerazione o decelerazione	85
6.5	Metodologia di calcolo per le major merge/diverge area.....	87
6.6	Risultati delle verifiche funzionali.....	88
6.7	Confronto dei risultati	106
7	VERIFICA FUNZIONALE DELLA ROTATORIA	107
7.1	L'intersezione analizzata	107
7.2	Metodologia di analisi.....	108
7.3	I risultati delle verifiche funzionali	111
8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	117

Titolo della relazione

RTP di progettazione:

Mandataria



Mandanti



1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione è riportata l'analisi trasportistica effettuata al fine di verificare il potenziamento del Lotto 0 che interessa la Strada Statale SS223 nel tratto compreso tra lo svincolo di Cerchiaia (km 67+900) e lo svincolo di Ruffolo (km 72+000): tale tratta fa parte della strada europea E78 che costituisce un importante collegamento trasversale da Grosseto a Fano, nelle Marche.

L'obiettivo di questo studio è quello di verificare la funzionalità della rete viaria esistente e di progetto nell'ipotesi di incremento di traffico riscontrabile nell'anno previsto di entrata in esercizio dell'opera. Lo studio consente pertanto di valutare l'impatto dell'intervento in progetto e la relativa coerenza con le infrastrutture esistenti.

Lo studio trasportistico si è articolato a partire dal rilievo dei flussi di traffico transitanti nelle rete prossima all'area d'intervento, utili alla ricostruzione della matrice origine/destinazione (O/D), per poi verificare, con diversi strumenti di modellizzazione del traffico, l'incidenza dell'intervento proposto sul traffico: a supporto dell'attività di ricostruzione della domanda per l'intera area di studio, dato il particolare momento storico in cui è stata effettuata l'analisi a causa dell'emergenza sanitaria da Covid-19, sono state implementate delle procedure di calibrazione basate sull'utilizzo di dati FCD (Floating Car Data) e dati provenienti da fonti terze, che verranno illustrate successivamente.

Data l'entità dell'intervento, l'analisi trasportistica ha riguardato l'intera rete ricadente nella provincia di Siena e le simulazioni condotte hanno fatto riferimento a 2 intervalli temporali (uno feriale e l'altro festivo) relativamente alla configurazione progettuale comprensiva di un intervento programmatico che interessa la SS2 Cassia Sud, come meglio indicato nei paragrafi a seguire.

Nella seguente figura è indicata in giallo l'area del Lotto 0 interessata dall'intervento progettuale.

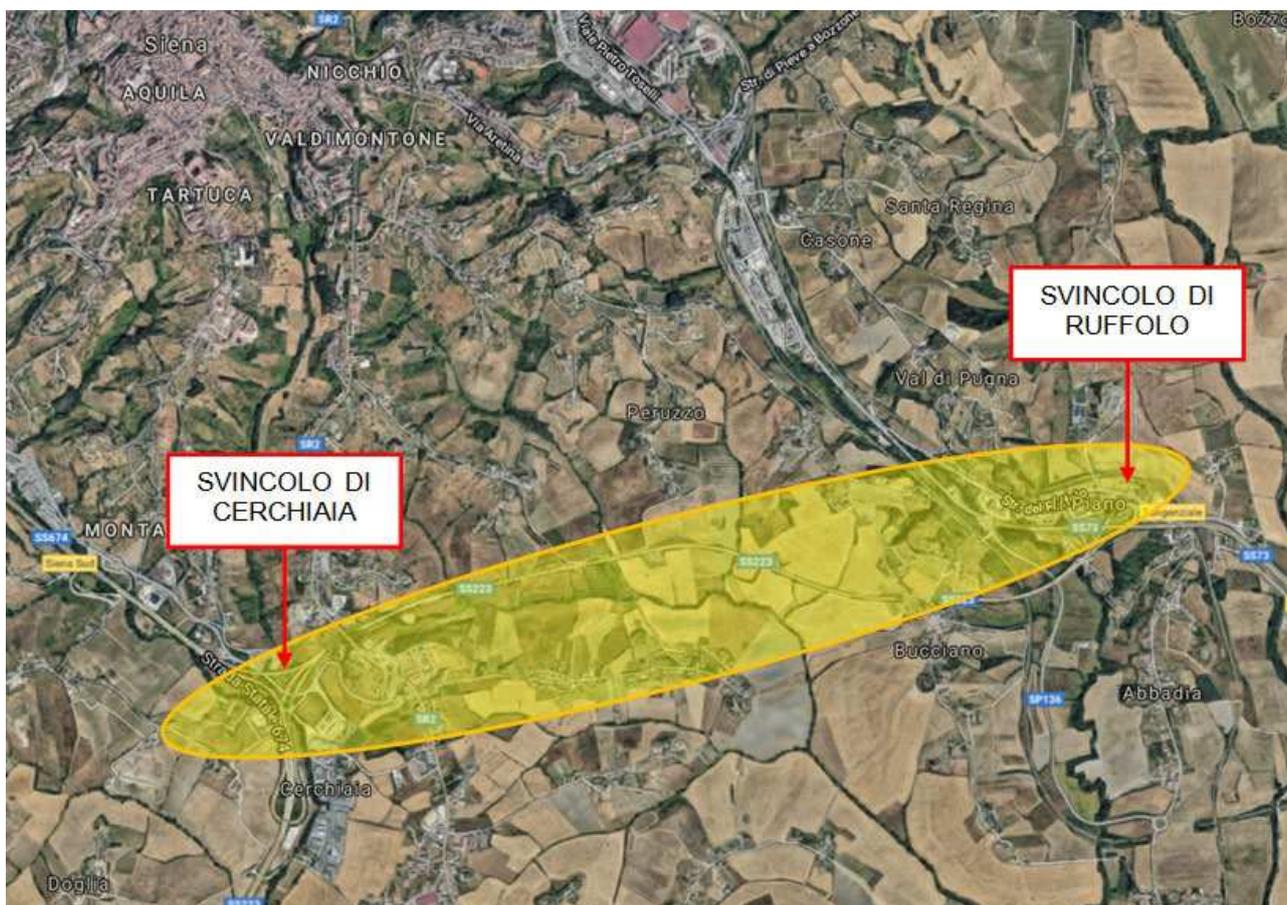


Figura 1 – Inquadramento territoriale

L'intervento progettuale, mostrato nelle immagini che seguono, prevede:

- L'adeguamento parziale dello svincolo di Cerchiaia in cui viene mantenuta la configurazione esistente inserendo l'incremento del numero di corsie del Lotto 0 e modificando la rampa di collegamento tra la SS223 e la Strada Statale SS674 (tangenziale ovest di Siena) in direzione Firenze (tavola 1);
- Il raddoppiamento del numero di corsie nel tratto compreso tra i due svincoli per una lunghezza di circa 4 km, garantendo continuità di sezione della E78 (tavola 2);
- La nuova configurazione dello svincolo di Ruffolo che permette la continuità di sezione per il Lotto 0 con l'inserimento di rampe di ingresso e uscita dalla Strada Statale SS 73 per entrambe le direzioni tramite una rotonda circolare (tavola 3).

Nel presente studio trasportistico è stato considerato anche l'intervento programmatico che interessa la SS2 Cassia, localizzata a sud dello svincolo di Cerchiaia, che, data la sua vicinanza all'area di studio, potrebbe apportare modifiche nella scelta di percorso dei flussi veicolari. L'intervento prevede la realizzazione di una variante di collegamento tra la Cassia nei pressi di Isola d'Arbia e la E78 a Monsindoli tramite una rotonda con rampe di svincolo, avente una lunghezza complessiva di circa 12.5 km: tale intervento viene illustrato nell'immagine a fine capitolo.

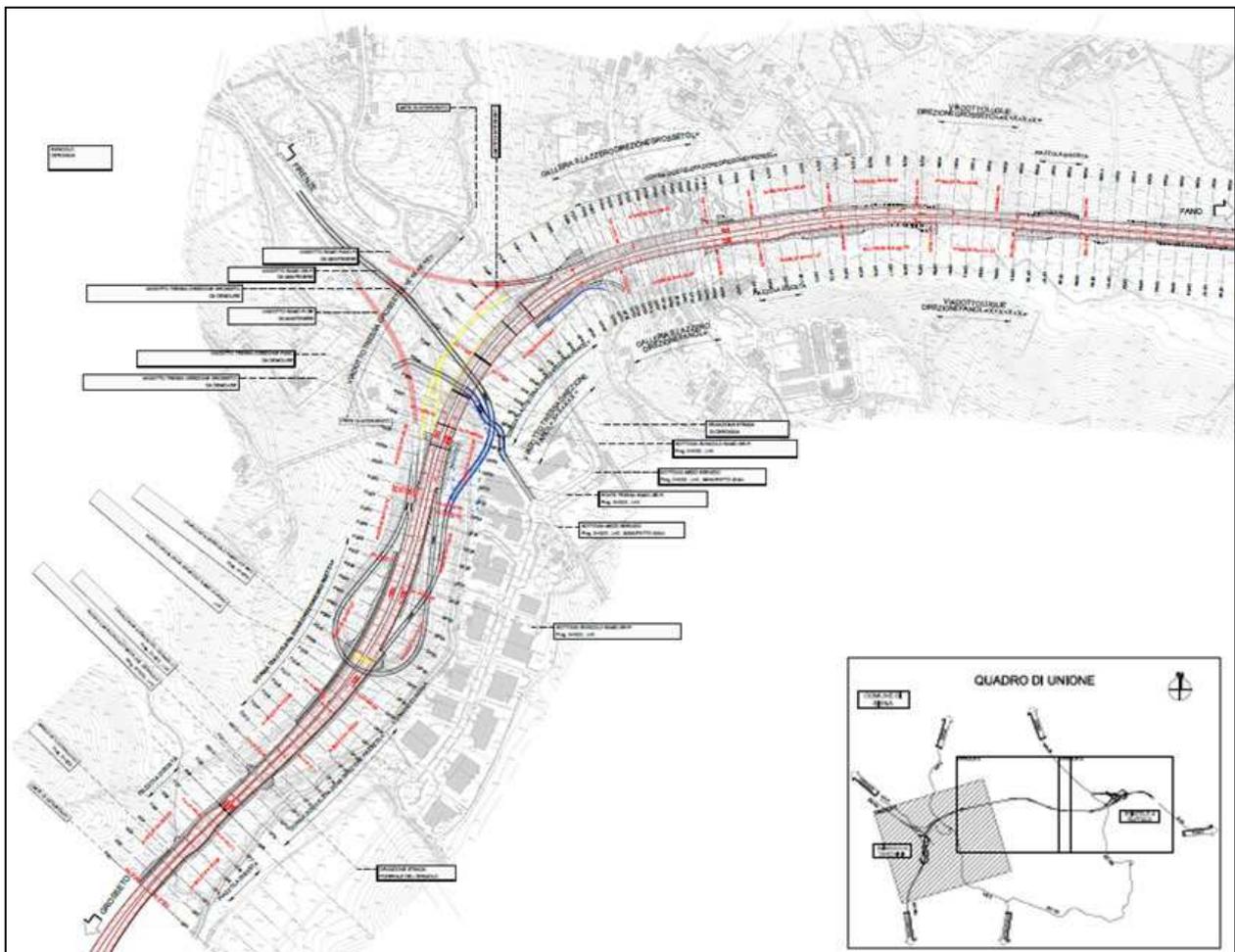


Figura 2 – Layout progettuale Lotto 0: tavola 1

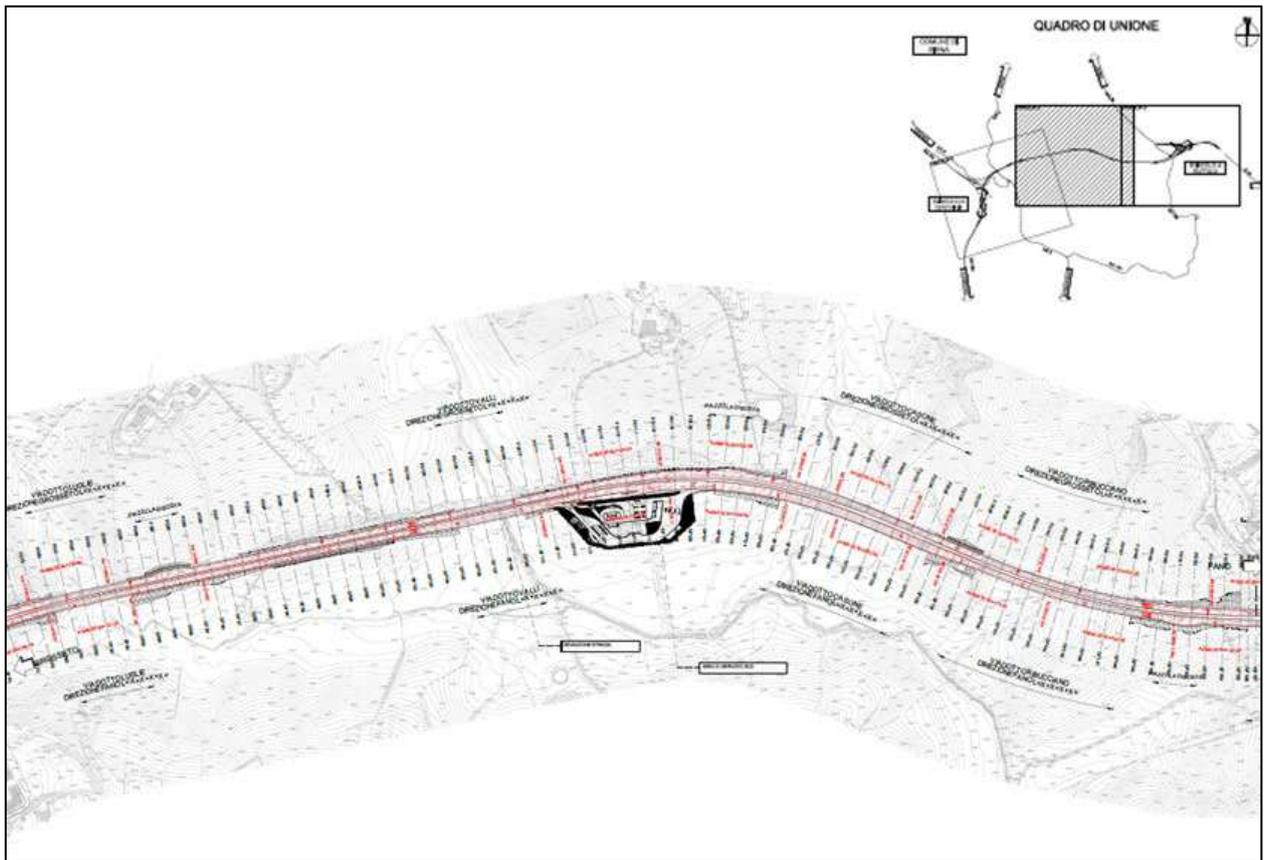


Figura 3 – Layout progettuale Lotto 0: tavola 2

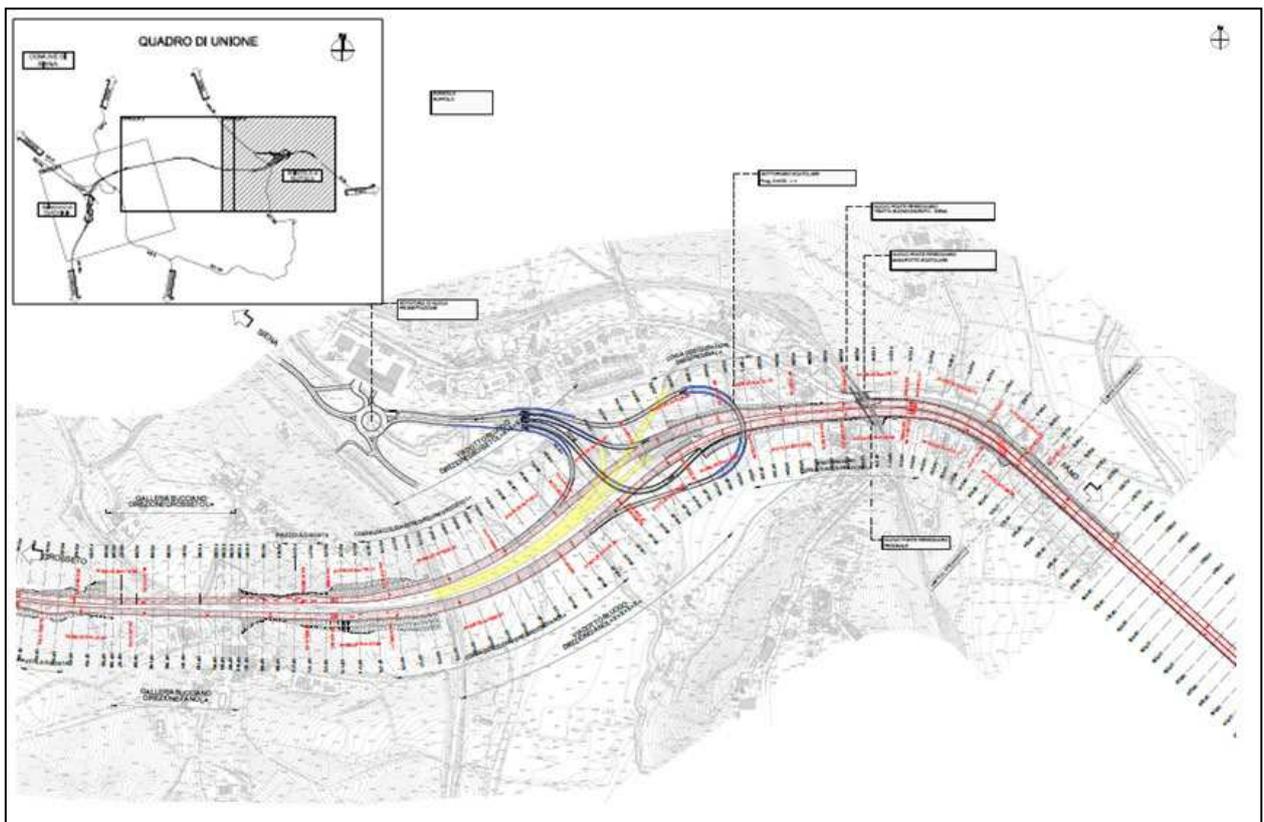


Figura 4 – Layout progettuale Lotto 0: tavola 3

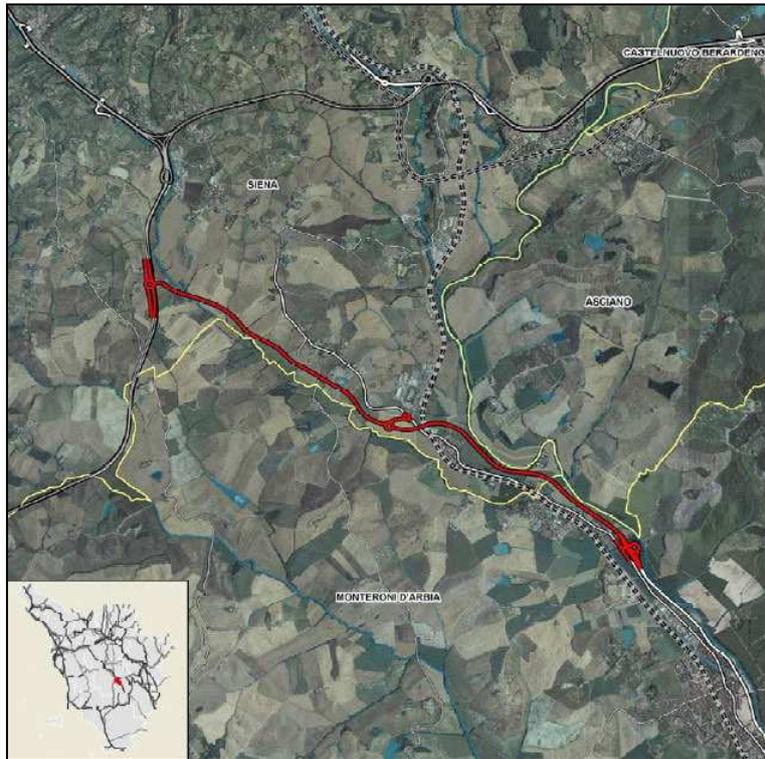


Figura 5 – Intervento programmatico Nuova Cassia

2 OBIETTIVI E ATTIVITÀ DELLO STUDIO

I principali obiettivi del presente studio di traffico possono essere così sintetizzati:

- Determinare i volumi di traffico, in funzione della realizzazione degli interventi programmatici e progettuali, al fine di poter valutare lo stato del traffico nell'area di studio;
- Verificare che la rete infrastrutturale sia in grado di smaltire la domanda di traffico complessiva.

Per raggiungere tali obiettivi sono state effettuate opportune analisi basate, per la domanda, sulla campagna d'indagine svolta nel mese di Luglio 2020 e ad altre banche dati e, per l'offerta, sull'acquisizione delle caratteristiche geometriche della rete infrastrutturale esistente e di progetto. Facendo riferimento al precedente studio svolto da Anas nel 2007 nella medesima area di interesse, e all'elaborazione dei dati FCD e delle sezioni di traffico consultate, i momenti di massimo carico della rete stradale sono risultati essere le fasce orarie serali di un giorno feriale e di un giorno festivo. Pertanto, sono stati considerati i seguenti scenari, elaborati modellisticamente per le ore serali di venerdì e domenica:

- Lo scenario attuale (Stato di Fatto o SDF): è determinato dalla domanda di traffico ad oggi presente sulla rete infrastrutturale esistente, così come rilevata dalle indagini e ricostruita modellisticamente;
- Lo scenario progettuale (Stato di Progetto o SDP): è determinato dalla domanda attesa nell'anno previsto di entrata in esercizio dell'opera, sulla rete infrastrutturale di progetto comprensiva dell'intervento programmatico della Cassia.

Le attività previste dallo studio di traffico sono state articolate nelle seguenti fasi, relative agli scenari descritti:

- Fase 1 → Effettuazione dei rilievi di traffico del Lotto 0 comprensivi delle rampe di svincolo nonché delle intersezioni limitrofe all'intervento in progetto ed elaborazione dei dati raccolti;
- Fase 2 → Calibrazione dei dati di traffico rilevati al fine di determinare le matrici o/d di domanda per gli scenari di riferimento, tramite l'impiego di dati FCD e dati da fonti terze;
- Fase 3 → Determinazione della domanda prevista per l'anno di entrata in esercizio dell'intervento di progetto;
- Fase 4 → Costruzione del modello di traffico in scala macroscopica ed esecuzione delle macrosimulazioni degli scenari;
- Fase 5 → Costruzione del modello di traffico in scala microscopica ed esecuzione delle microsimulazioni degli scenari;
- Fase 6 → Verifica funzionale delle tratte stradali del Lotto 0 nonché delle corsie di accelerazione e decelerazione e delle aree di confluenza e diversione, con gli opportuni strumenti di analisi;
- Fase 6 → Verifica funzionale dell'intersezione a rotatoria presente nell'area di studio, con un opportuno strumento di analisi.

In particolare, le macrosimulazioni eseguite sono state condotte impiegando il software VISUM, per avere un quadro generale dell'andamento della circolazione, implementando un modello che ha interessato l'intero territorio provinciale di Siena: in questo modo è stato possibile valutare gli effetti dell'intervento infrastrutturale su larga scala.

Le microsimulazioni, invece, sono state condotte a mezzo del software VISSIM, al fine di verificare in modo più puntuale il funzionamento della rete, con un maggior dettaglio di analisi sull'area di riferimento più specifica dell'intervento, consentendo una descrizione estremamente dettagliata della geometria delle strade, delle regole di precedenza, nonché dei comportamenti medi di guida dei conducenti.

Queste simulazioni sono quindi in grado di fornire diversi indicatori sulle performances della rete in

generale e delle intersezioni in particolare. Principalmente per ogni scenario è possibile verificare la capacità della rete di smaltire la domanda di traffico, calcolandone la velocità media, il tempo perso e gli accodamenti agli attestamenti delle intersezioni.

Ulteriore verifica è stata condotta in modo puntuale nei segmenti stradali che costituiscono il Lotto 0 e lungo le rampe dei due svincoli, tramite le metodologie proposte dall'HCM: in questo modo, è stato possibile definire il livello di servizio, tramite l'entità della densità veicolare lungo le tratte stradali, sia per lo SDF che lo SDP.

A completamento dell'analisi trasportistica, per la rotatoria esistente nell'area di studio, è stata svolta una valutazione delle capacità residue di ogni singolo ramo in ingresso, utilizzando il software GIRABASE, riconosciuto come strumento di riferimento per la verifica di tale tipo di intersezione.

L'analisi è stata condotta sugli scenari SDF e SDP per l'ora di punta serale del venerdì e della domenica.

3 DATI DI INPUT

In questo capitolo vengono riportate e illustrate le diverse tipologie di dati di input utilizzati per la ricostruzione della domanda di trasporto da implementare nei modelli di simulazione.

In particolare, i flussi veicolari circolanti nella rete stradale dell'area di studio sono stati ricostruiti affiancando i rilievi di traffico eseguiti a dati di tipo FCD (Floating Car Data), vista l'attuale situazione sanitaria legata al Covid-19 che potrebbe rendere poco significativi i dati rilevati: tali dati provengono dal comportamento di flotte veicolari che montano a bordo dei dispositivi in grado di registrare e inviare le informazioni sulla posizione del veicolo nel tempo.

Oltre ai dati FCD sono stati utilizzati anche dati provenienti da enti terzi, quali ANAS, Comune di Siena e Pums, descritti nei paragrafi successivi.

3.1 Rilievi di traffico

Nella presente sezione è riportata la fase di indagine svolta lungo il Lotto 0, al fine di definire le dinamiche di traffico attuali dell'area di studio.

L'indagine è stata eseguita da operatori sul campo che hanno effettuato dei conteggi manuali rilevando le manovre di svolta nelle intersezioni presenti in prossimità dell'area di intervento, nelle fasce orarie serali di venerdì e di domenica, che rappresentano il momento di massimo picco della rete in relazione al futuro intervento infrastrutturale.

3.1.1 Rilievi manuali del traffico veicolare

Le indagini di traffico effettuate per il presente studio sono state svolte tramite conteggi manuali e sono state finalizzate ad ottenere la ricostruzione degli spostamenti che caratterizzano il tracciato principale della SS223 e della SS73 nello scenario attuale.

Tali rilievi sono stati eseguiti da operatori sul campo che, muniti dell'apposita strumentazione, hanno rilevato i flussi nelle rampe di entrata e uscita negli svincoli di Cerchiaia e di Ruffolo e le manovre di svolta in 2 intersezioni localizzate in prossimità del Lotto 0 nelle giornate di **venerdì 24 luglio** e di **domenica 26 luglio 2020 tra le ore 17:00 e le ore 19:00**.

Le intersezioni di rilievo, indicate nelle figure seguenti, sono:

- **INT 01 – Svincolo di Cerchiaia;**
- **INT 02 – Svincolo di Ruffolo;**
- **INT 03 (rotatoria):** SP136 Traversa Romana Aretina / SS73 Senese Aretina / SS715 Siena-Bettolle;
- **INT 04** (intersezione non semaforizzata): SS715 Siena-Bettolle / Strada del Ruffolo.

Tali rilievi hanno quindi permesso la definizione dei flussi di traffico lungo il Lotto 0 nella tratta a monte dello svincolo di Cerchiaia, tra i due svincoli e a valle dello svincolo di Ruffolo, per entrambe le direzioni di marcia, come riportato nelle relative tabelle.

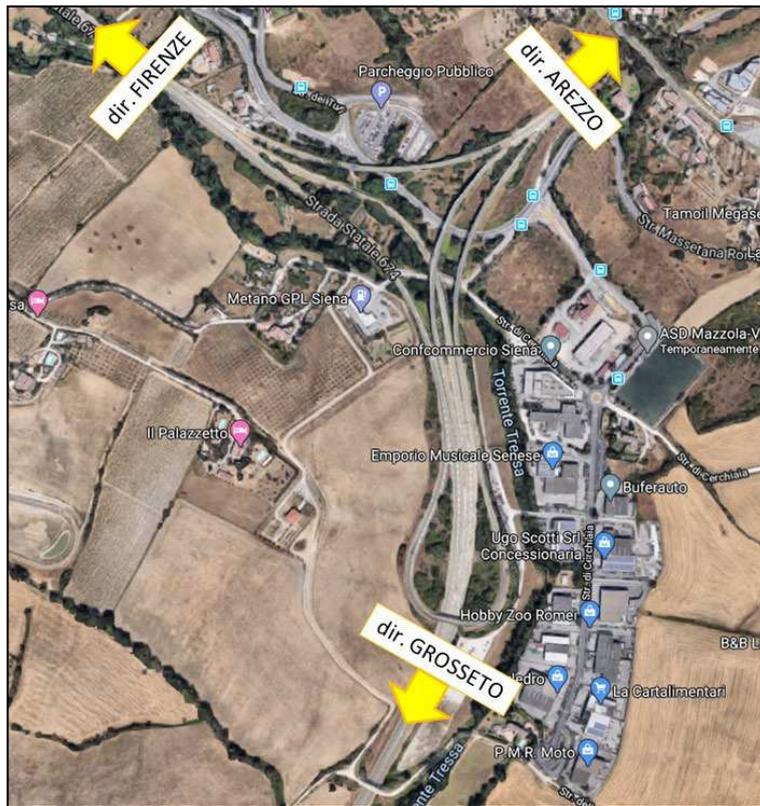


Figura 6 – INT 01: svincolo di Cerchiaia



Figura 7 – INT 02 (svincolo di Ruffolo), INT 03 e INT 04

Per il venerdì l'ora di massimo carico è quella dalle 17:45 alle 18:45, mentre per la domenica tale ora di picco va dalle 18:00 alle 19:00.

Nel dettaglio, si riportano in forma tabellare, per ciascun svincolo e intersezione indagati, le matrici origine/destinazione, in termini di veicoli totali, nelle ore di punta della sera del venerdì e della domenica.

Intersezione INT 01 – Svincolo di Cerchiaia



Figura 8 – Intersezione INT 01

MATRICE INT 01 - VENERDI' SERA				
O/D	A	B	C	TOT
A	0	408	357	765
B	739	0	277	1016
C	323	520	0	843
TOT	1062	928	634	2624

Tabella 1 – INT 01: matrice nell'ora di punta del venerdì sera [veicoli totali]

MATRICE INT 01 - DOMENICA SERA				
O/D	A	B	C	TOT
A	0	762	539	1301
B	243	0	366	609
C	174	409	0	583
TOT	417	1171	905	2493

Tabella 2 – INT 01: matrice nell'ora di punta della domenica sera [veicoli totali]

Intersezione INT 02 – Svincolo di Ruffolo



Figura 9 – Intersezione INT 02

MATRICE INT 02 - VENERDI' SERA				
O/D	C	D	E	TOT
C	0	100	535	635
D	164	0	499	663
E	679	332	0	1011
TOT	843	432	1034	2309

Tabella 3 – INT 02: matrice nell'ora di punta del venerdì sera [veicoli totali]

MATRICE INT 02 - DOMENICA SERA				
O/D	C	D	E	TOT
C	0	60	846	906
D	89	0	404	493
E	494	249	0	743
TOT	583	309	1250	2142

Tabella 4 – INT 02: matrice nell'ora di punta della domenica sera [veicoli totali]

Intersezione INT 03

Rotatoria a 3 braccia tra la SP136 Traversa Romana Aretina, la SS73 Senese Aretina e la SS715 Siena-Bettolle.

In tale intersezione sono presenti anche l'accesso e l'uscita dei mezzi della Caserma dei Vigili del Fuoco: durante entrambe le ore di punta dei giorni di rilievo non è stato rilevato alcun mezzo d'emergenza entrare o uscire dall'edificio.

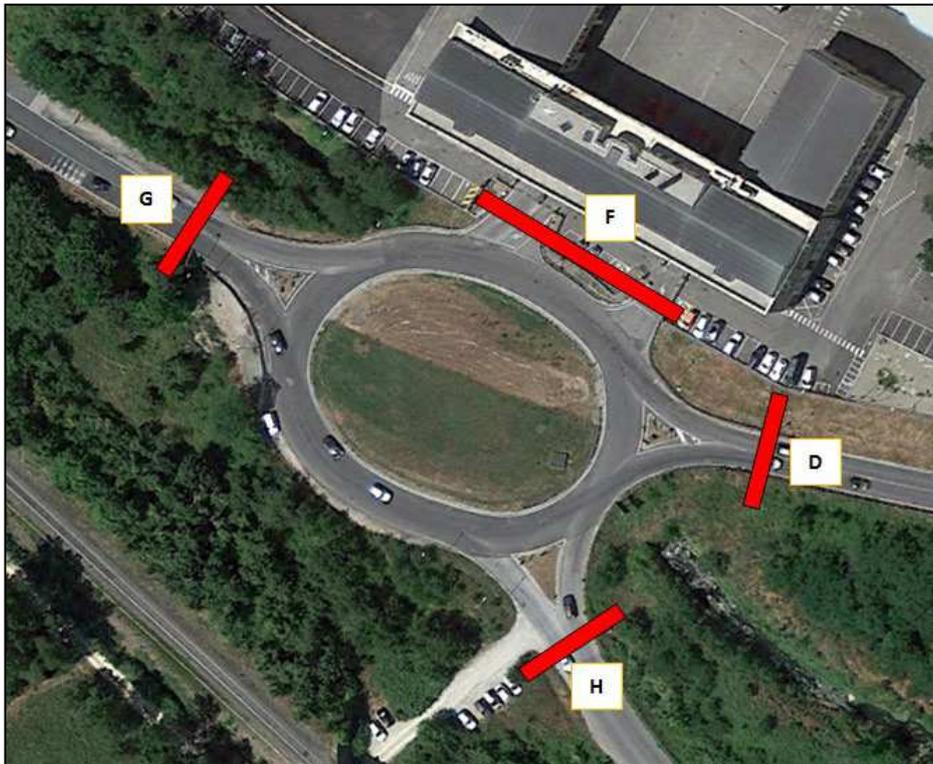


Figura 10 – Intersezione INT 03

MATRICE INT 03 - VENERDI' SERA					
O/D	D	F	G	H	TOT
D	0	0	336	96	432
F	0	0	0	0	0
G	521	0	0	216	737
H	142	0	175	0	317
TOT	663	0	511	312	1486

Tabella 5 – INT 03: matrice nell'ora di punta del venerdì sera [veicoli totali]

MATRICE INT 03 - DOMENICA SERA					
O/D	D	F	G	H	TOT
D	0	0	247	61	308
F	0	0	0	0	0
G	415	0	0	46	461
H	78	0	98	0	176
TOT	493	0	345	107	945

Tabella 6 – INT 03: matrice nell'ora di punta della domenica sera [veicoli totali]

Intersezione INT 04

Intersezione non semaforizzata tra la SS715 Siena-Bettolle e Strada del Ruffolo.

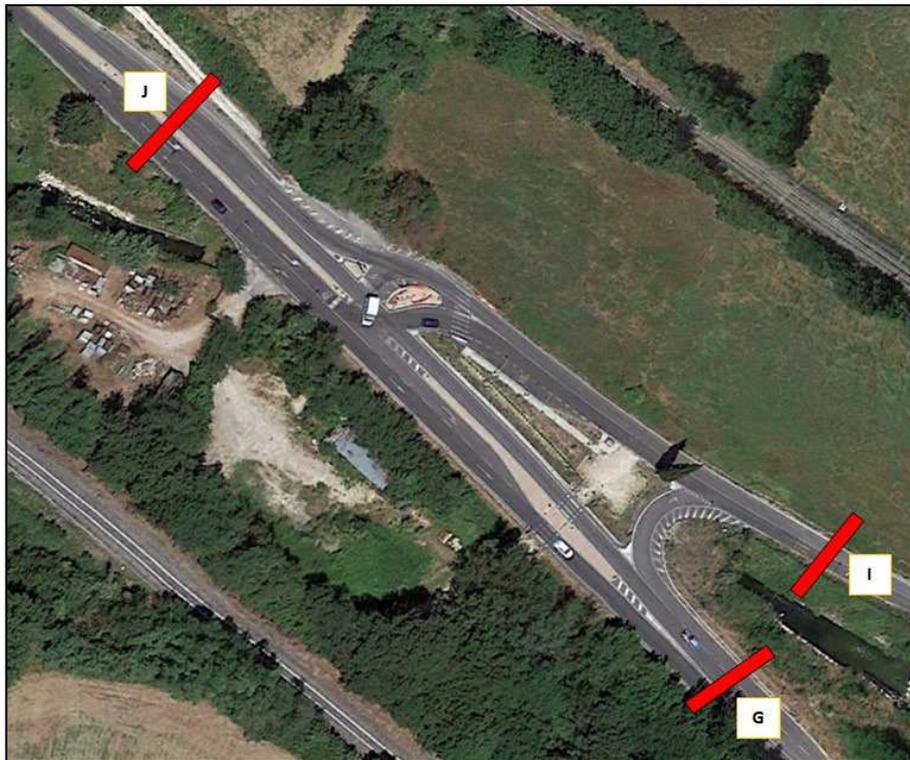


Figura 11 – Intersezione INT 04

MATRICE INT 04 - VENERDI' SERA				
O/D	G	I	J	TOT
G	0	11	501	512
I	6	0	90	96
J	731	107	0	838
TOT	737	118	591	1446

Tabella 7 – INT 04: matrice nell'ora di punta del venerdì sera [veicoli totali]

MATRICE INT 04 - DOMENICA SERA				
O/D	G	I	J	TOT
G	0	7	338	345
I	5	0	79	84
J	456	32	0	488
TOT	461	39	417	917

Tabella 8 – INT 04: matrice nell'ora di punta della domenica sera [veicoli totali]

3.2 Dati FCD

La recente diffusione in Italia della pandemia legata al Covid-19 e i relativi provvedimenti governativi in tema di mobilità hanno di fatto prodotto delle modifiche estremamente rilevanti sull'entità di traffico attuale, per cui è stato ritenuto necessario effettuare un'integrazione dell'indagine di rilievo per valutare eventuali variazioni comportamentali di domanda legate a questa situazione specifica.

Si è scelto, pertanto, di avvalersi dei dati di tipo FCD provenienti dal comportamento di flotte veicolari che montano a bordo dei dispositivi in grado di registrare e inviare le informazioni sulla posizione del veicolo nel tempo. I dati FCD forniscono la posizione del mezzo in movimento, registrando l'istante di transito in determinati punti GPS inseriti nel grafo viario: implementando un algoritmo di route matching, è quindi possibile ricostruire il percorso del veicolo come sequenza di archi attraversati in ordine cronologico. Ciò permette sia di conteggiare quanti veicoli sono transitati su un determinato arco in una determinata direzione sia, associando alle varie zone un arco di partenza e di arrivo, di ricostruire la matrice OD di un'area più o meno ampia.

In tal senso l'estensore dello studio ha stabilito una collaborazione con la società Infoblu, del gruppo Autostrade per l'Italia, che dispone del dato storico di alcuni milioni di veicoli, distinguendo la tipologia (leggeri e pesanti) e registrando i percorsi effettuati giornalmente con la precisione del singolo arco stradale. Di fatto viene prodotto un dato campionario, statisticamente molto solido in quanto riferito ad una flotta di circa 4 milioni di veicoli, relativamente ai transiti che avvengono sulla rete di interesse, potendo ricostruire su tale campione non solo i flussi riferiti alle sezioni ma anche le manovre di svolta alle intersezioni e le matrici origine/destinazione dei veicoli che interessano l'area di studio.

L'aspetto più importante che occorre considerare nell'utilizzare i dati FCD è quello di espansione del campione all'universo dei veicoli circolanti, al fine di produrre i conteggi di traffico necessari alla ricostruzione degli scenari serali del venerdì e della domenica. Il processo di espansione viene preceduto dalla fase di validazione del dato FCD, attraverso un confronto di correlazione con i dati di traffico rilevati a disposizione.

Qui di seguito vengono riportati i principali aspetti legati al processo di validazione mentre l'espansione dei dati FCD verrà illustrata nei paragrafi successivi.

3.2.1 Validazione dati FCD

Come anticipato precedentemente, tramite i dati FCD, che si riferiscono ad un campione di veicoli, ancorché molto significativo, dell'intera flotta italiana, è possibile risalire al numero di veicoli transitati in un dato periodo su un determinato arco stradale orientato.

Per poter validare i dati di traffico rilevati in un periodo di emergenza sanitaria, si è scelto di raccogliere dei dati FCD relativi a un periodo temporale antecedente, in cui la circolazione veicolare era in condizioni ordinarie: in particolare, sono state prese in esame 2 settimane di Maggio 2019 (dal 13 al 26) e 2 settimane di Ottobre 2019 (dal 7 al 20), ricadenti nel periodo scolastico.

Per poter confrontare l'entità dei flussi veicolari prima e durante l'epidemia, sono stati raccolti anche i dati FCD relativi alle due giornate in cui sono stati effettuati i rilievi, ovvero venerdì 24 e domenica 26 Luglio 2020.

Tutti i dati FCD elaborati sono riferiti all'intera rete stradale provinciale.

Dal confronto effettuato tra i dati FCD pre e post Covid, espressi in Km medi giornalieri percorsi dai veicoli attrezzati in provincia di Siena, è emerso come i flussi di traffico nelle ore di punta serali del venerdì transitanti nel mese di Luglio (indicati con "VEN24") hanno valori simili a quelli del periodo pre-Covid ("FER_PRE") mentre, nelle ore mattutine si riscontra un calo significativo: in tal senso, si sono considerati validi i valori rilevati il 24 Luglio 2020. Per la domenica, invece, si nota un incremento generalizzato dei flussi post-Covid ("DOM26") rispetto ai periodi precedenti al Covid ("DOM_PRE"): in questo caso, in via cautelativa, si è scelto di mantenere i dati raccolti il 26 Luglio 2020.

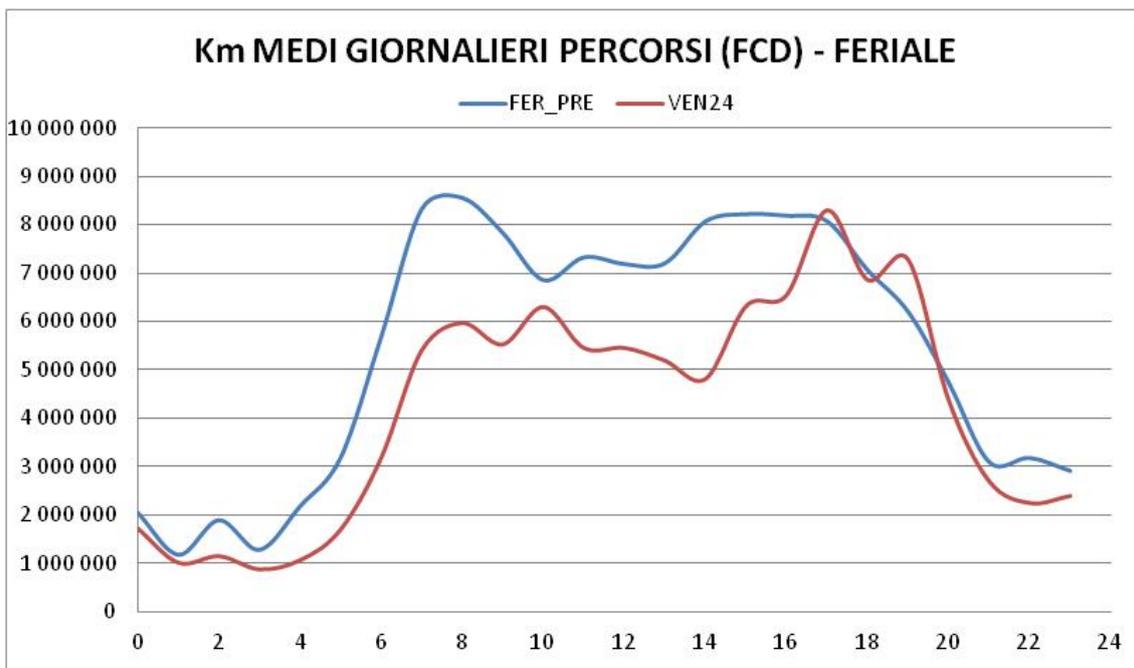


Figura 12 – Confronto dati FCD pre-Covid e attuali per il venerdì

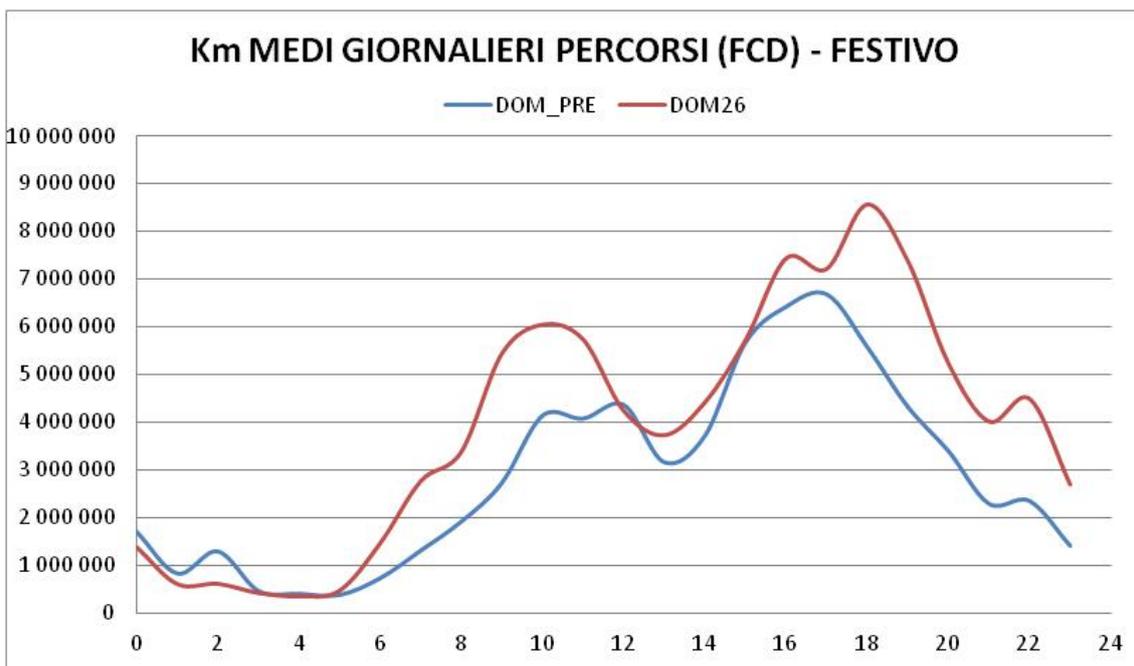


Figura 13 – Confronto dati FCD pre-Covid e attuali per la domenica

3.3 Composizioni veicolari

Attraverso l'impiego dei dati FCD, che distinguono i veicoli leggeri e pesanti, è stata determinata la composizione veicolare che interessa l'area di studio, con particolare attenzione per quella rilevata sul Lotto 0 e le rampe dei due svincoli, sia per il venerdì che per la domenica: il Lotto 0 è stato suddiviso in tre tratte (a monte dello svincolo di Cerchiaia, tra i due svincoli e a valle dello svincolo di Ruffolo), ognuna caratterizzata da una diversa entità di mezzi pesanti nell'ora di punta serale feriale e festiva.

Di seguito si riportano in forma tabellare i valori di percentuale dei mezzi pesanti dei vari elementi stradali individuati da un codice numerico come indicato nelle immagini sottostanti: come si

può notare tale percentuale risulta essere maggiore nel giorno feriale mentre si riduce significativamente la domenica.

Numero	Tratta	Descrizione	Direzione	% MP Ven Sera	% MP Dom Sera
1	Lotto 0	A monte dello svincolo di Cerchiaia	Nord	12%	3%
			Sud	11%	3%
2		Tra i 2 svincoli	Est	12%	4%
			Ovest	12%	4%
3		A valle dello svincolo di Ruffolo	Est	8%	3%
			Ovest	9%	3%
4	Svincolo di Cerchiaia	Rampa FI-GR	-	10%	4%
5		Rampa Fi-AR	-	12%	5%
6		Rampa GR-FI	-	13%	4%
7		Rampa GR-AR	-	10%	1%
8		Rampa AR-FI	-	13%	5%
9		Rampa AR-GR	-	12%	3%
10	Svincolo di Ruffolo	Rampa SI-CE	-	10%	1%
11		Rampa CE-SI	-	19%	2%
12		Rampa CE-AR	-	9%	3%
13		Rampa AR-CE	-	13%	5%

Tabella 9 – Composizioni veicolari Lotto 0 e svincoli



Figura 14 – Codici numerici Lotto 0

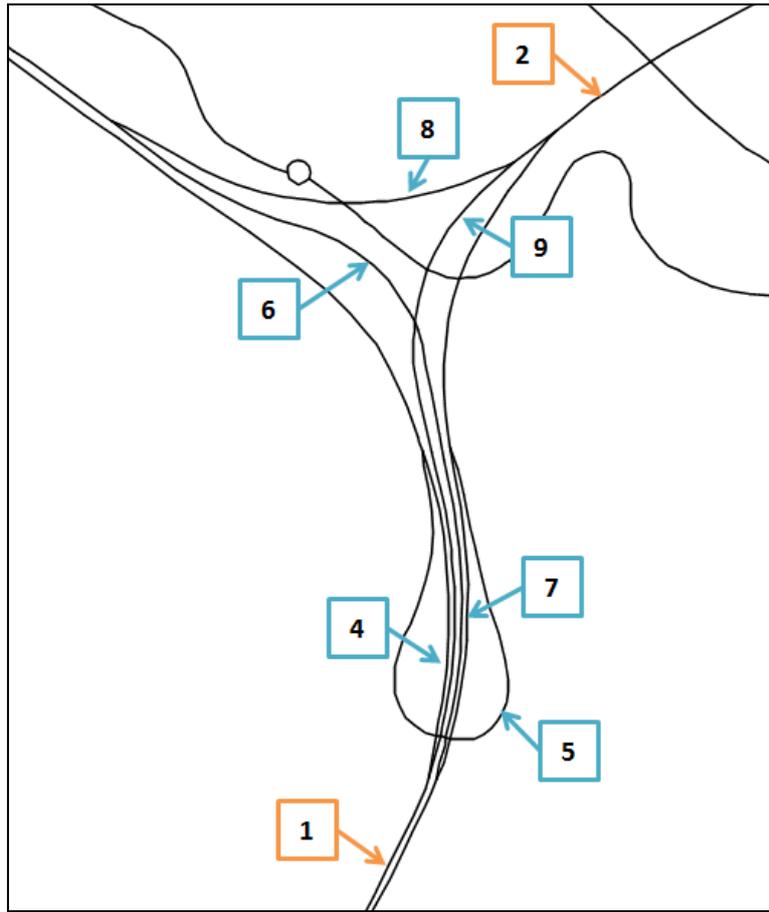


Figura 15 – Codici numerici svincolo di Cerchiaia

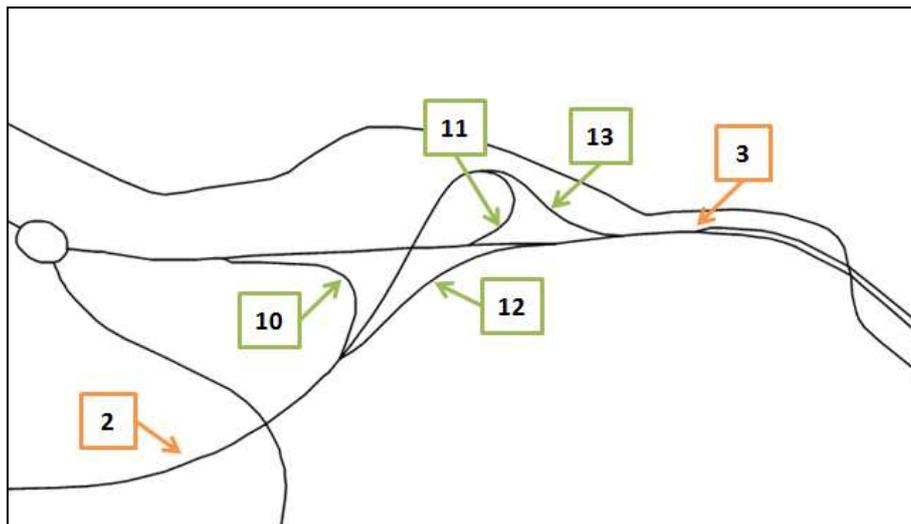


Figura 16 – Codici numerici svincolo di Ruffolo

4 ANALISI MACRO

Le valutazioni di carattere trasportistico sull'area interessata dalla nuova infrastruttura di progetto del Lotto 0 sono state condotte utilizzando un modello di simulazione dei flussi di traffico esteso all'intera provincia di Siena, dato il forte impatto che l'intervento apporterebbe alla rete stradale.

Tale modello costituisce di fatto uno strumento di supporto alle decisioni in materia di analisi e pianificazione dei trasporti e della mobilità, consentendo di fornire previsioni attendibili in merito alla redistribuzione dei flussi di traffico nei diversi scenari analizzati nella rete di studio prossima all'intervento.

La scelta di un macromodello provinciale è motivata anche dalla necessità di verificare i livelli di servizio delle infrastrutture viarie dell'area di studio (in termini principalmente di rapporto flusso/capacità) e di rilevare l'eventuale presenza di variazioni di percorsi sulla viabilità introdotta ed esistente.

Le stime sulla redistribuzione della domanda, destinata ad impegnare l'area di influenza dell'infrastruttura in progetto, sono state ottenute mediante l'utilizzo di un modello di simulazione dei flussi di traffico implementato con il software VISUM, prodotto e commercializzato dalla società PTV. VISUM è uno strumento di modellazione del traffico riconosciuto unanimemente dalla comunità scientifica come riferimento per tale tipo di simulazioni.

Il modello di simulazione dei flussi di traffico, riferito all'intero territorio provinciale senese, è descritto in termini di offerta da un grafo stradale derivato dalla base dati NavTeq, mentre in termini di domanda si fa riferimento alle matrici origine/destinazione (O/D) relative agli spostamenti compiuti, nelle ore di punta serali del venerdì e della domenica.

4.1 La zonizzazione territoriale

La zonizzazione dell'area di studio provinciale è stata effettuata facendo riferimento alle aree di censimento (ACE) dell'ISTAT, associando ad ognuna di essa la relativa zona connessa alla rete stradale, operando un maggior infittimento in prossimità del comune di Siena, localizzato in adiacenza all'area di intervento.

Nell'area sono presenti 3 zone multi ace, ovvero i comuni di Colle di Val d'Elsa, Poggibonsi e Siena.

L'immagine seguente mostra la suddivisione territoriale della provincia di Siena in ace indicando i nomi dei comuni e l'area di intervento (cerchio rosso).

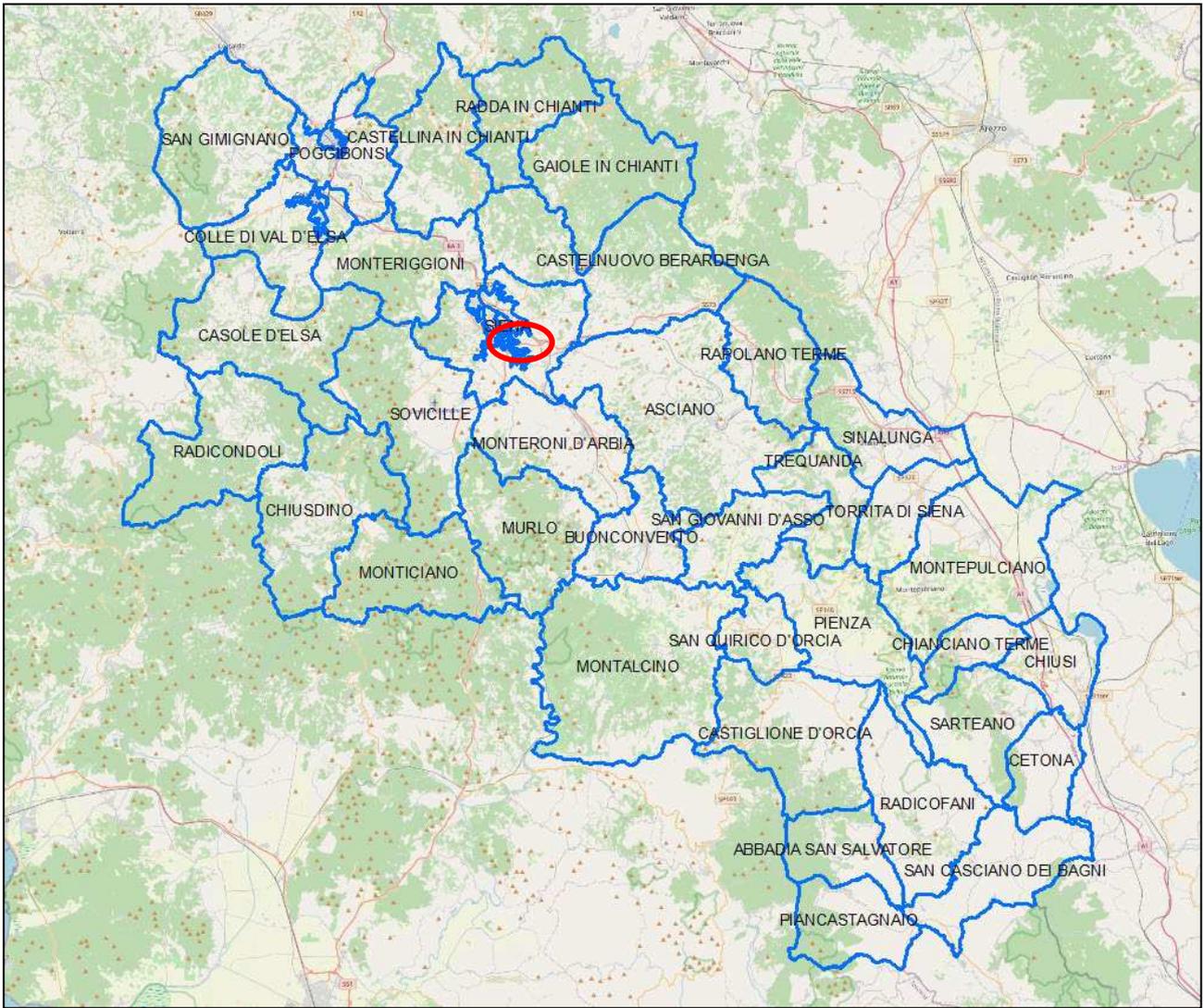


Figura 17 – Zonizzazione interna

Per quanto riguarda la zonizzazione esterna al territorio provinciale, sono state considerate come zone i punti terminali delle infrastrutture in corrispondenza del confine territoriale.
In definitiva, l'area di studio presenta 73 zone interne e 46 zone esterne, per un totale di 119 zone.

4.2 La rete infrastrutturale

Lo strumento di analisi utilizzato per la modellizzazione del sistema di offerta si basa su un grafo di rete stradale complessivamente costituito da:

- circa 24.500 nodi (con associata la tipologia dello svincolo che essi rappresentano);
- oltre 47.000 archi orientati (con associate informazioni quali, ad esempio, la lunghezza, la capacità di deflusso orario in termini di veicoli equivalenti, la velocità di progetto, etc.);
- oltre 55.000 manovre di svolta (con associato il perditempo agli incroci).

Per quanto concerne la caratterizzazione del grafo si è proceduto all'organizzazione della rete in 4 classi principali di strade, in base al parametro "Func_Class", ciascuna delle quali suddivisa, a sua volta, in varie sottoclassi in ragione dei valori di capacità, della forma funzionale della curva di deflusso e della velocità di percorrenza ad arco scarico. La classificazione principale utilizzata è riportata nella tabella successiva.

Func_Class	Denominazione	Numero archi
1	Autostrade	237
2	Viabilità principale	4 450
3	Viabilità secondaria	17 764
4	Viabilità di interesse locale	24 835
TOTALE		47 286

Tabella 10 – Classificazione degli archi stradali del grafo

La successiva figura mostra il grafo del modello di traffico utilizzato: come si può notare, l'unica viabilità autostradale presente nell'area di studio consiste nel tronco della A1 (archi in verde) che attraversa longitudinalmente la parte nord-est del grafo e quindi risulta ben lontana dal Lotto 0.

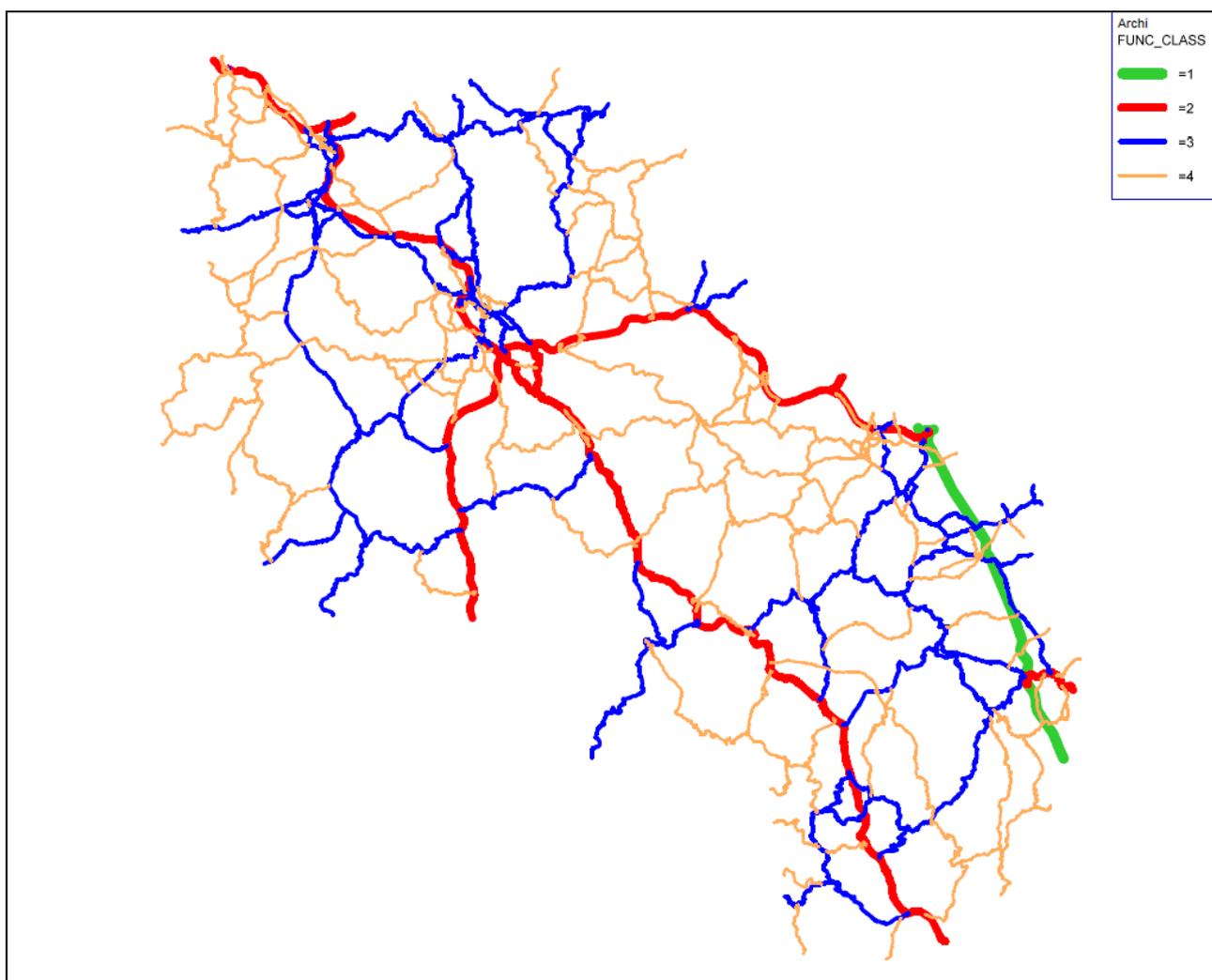


Figura 18 – Mappa del grafo di rete considerato

La successiva immagine mostra il dettaglio della rete stradale prossima all'area d'intervento.

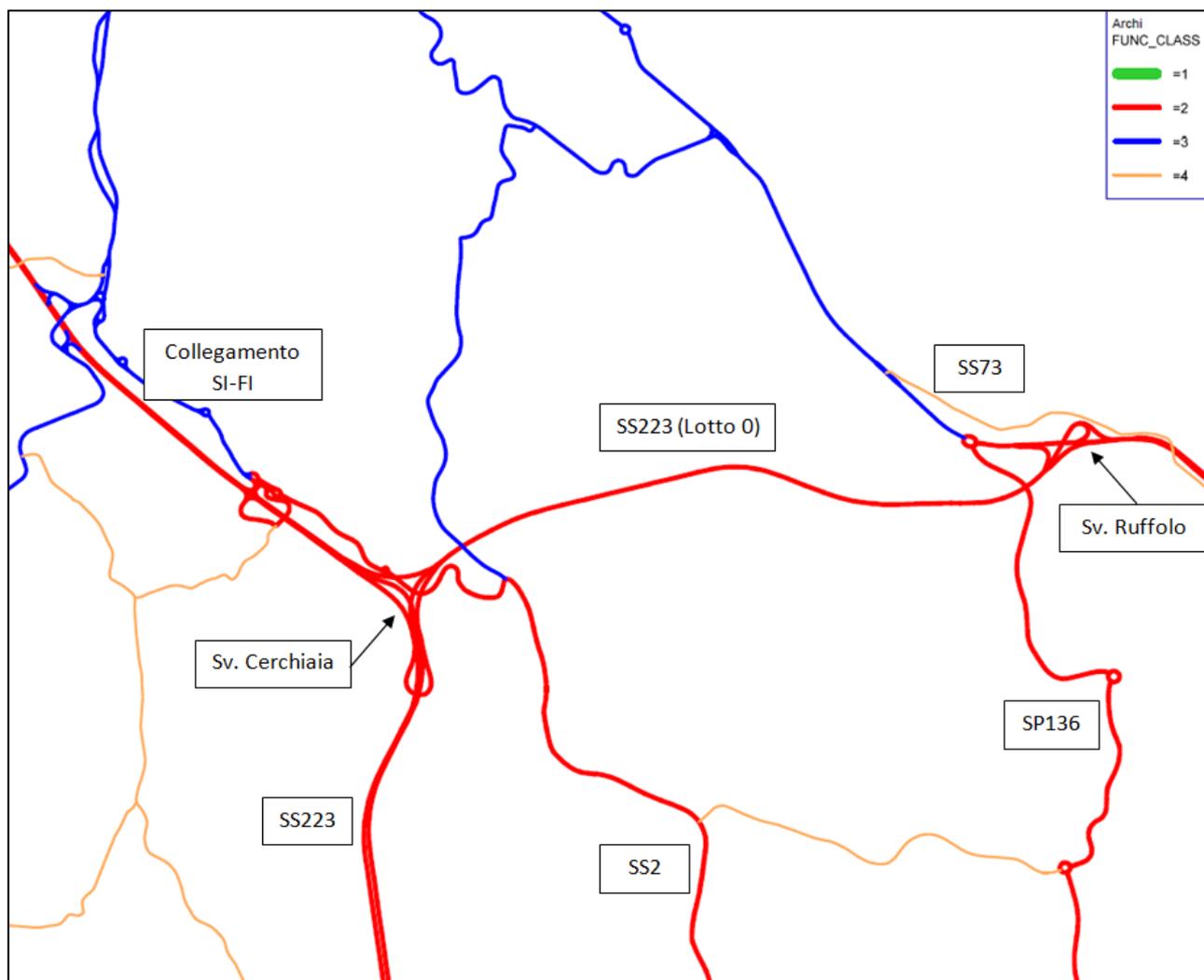


Figura 19 – Zoom area di interesse

4.3 Le principali banche dati di riferimento

Per la ricostruzione della domanda attuale di spostamento sono stati utilizzati i seguenti dati messi a disposizione per tale studio, di cui segue una breve descrizione:

- Dati provenienti dall'ANAS;
- Dati del Comune di Siena;
- Dati del PUMS di Siena;
- Campagna di rilievi luglio 2020;
- Dati FCD.

Per i dati messi a disposizione da ANAS è stata fornita la serie storica dal 2015 al 2019 relativa alle strade statali in gestione: in esse sono contenuti i flussi veicolari per entrambe le direzioni di marcia distinti per tipo di giorno (feriale, sabato e domenica) e fascia oraria.

I dati provenienti dal Comune di Siena sono relativi ad una campagna di indagine effettuata in 8 sezioni di traffico, disposte lungo il perimetro del territorio cittadino, in due settimane distinte, dal 9 al 15 Maggio e dal 20 al 26 Maggio del 2014. Le rilevazioni sono state svolte con continuità nell'arco giornaliero con conteggio dei passaggi ogni 15 minuti e suddivisione dei veicoli in due tipologie: leggeri e pesanti.

Inoltre, sono stati utilizzati i dati del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS) reperiti tramite una campagna di rilievi automatici effettuata tra Settembre e Ottobre del 2017: sono state indagate 16 sezioni bidirezionali nell'area Senese, per tre giorni feriali continuativi, esclusi i giorni di montaggio e smontaggio delle apparecchiature Radar. I dati dei flussi di traffico sono distinti per fascia oraria e categoria di veicoli.

Le categorie veicolari rilevate sono:

- BM: Bici/Moto;
- AT: Auto;
- VCL: Veicoli Commerciali Leggeri;
- VCP: Veicoli Commerciali Pesanti;
- AN: Anomalie.

Per quanto riguarda la campagna di rilievo relativa all'area dell'intervento del Lotto 0, si rimanda al paragrafo 3.1.1.

Infine, sono stati utilizzati i dati FCD relativi all'intera provincia di Siena, già introdotti nel paragrafo 3.2. In particolare, dopo un confronto tra i dati pre-Covid e i dati relativi alla campagna di rilievo (Luglio 2020), si è scelto di considerare i valori FCD post-Covid, che sono risultati equivalenti relativamente alle ore serali feriali e più elevati rispetto alle ore serali della domenica. In questo secondo caso la scelta di utilizzare i dati post-Covid è motivata da un approccio prudentiale da una parte e da una maggiore coerenza con la campagna di rilievo dall'altra.

Per utilizzare il dato FCD è stato necessario determinare un fattore di espansione che consenta di stimare l'universo dei veicoli transitanti a partire dal campione di veicoli attrezzati.

A tale scopo sono stati determinati dei fattori di espansione attraverso l'inverso del rapporto tra la somma dei valori FCD e i dati messi a disposizione dalle varie fonti per le sezioni considerate, entrambi relativi alle ore di punta serali del venerdì e della domenica. Tali fattori sono pari a:

- 155.27 per il venerdì;
- 95.38 per la domenica.

Tutti i dati appena descritti sono stati poi utilizzati nel processo di calibrazione, a scala provinciale, del macromodello di traffico utilizzato, al fine di disporre poi di una metodologia adatta alla valutazione degli scenari progettuali.

L'immagine seguente mostra la localizzazione delle sezioni di rilievo e delle sezioni FCD distinti per tipologia di fonte. Per ciò che concerne i dati FCD, disponibili potenzialmente per ogni arco, si è scelto di considerare alcune sezioni maggiormente rappresentative sia in termini di flussi transitanti che in termini di distribuzione geografica.

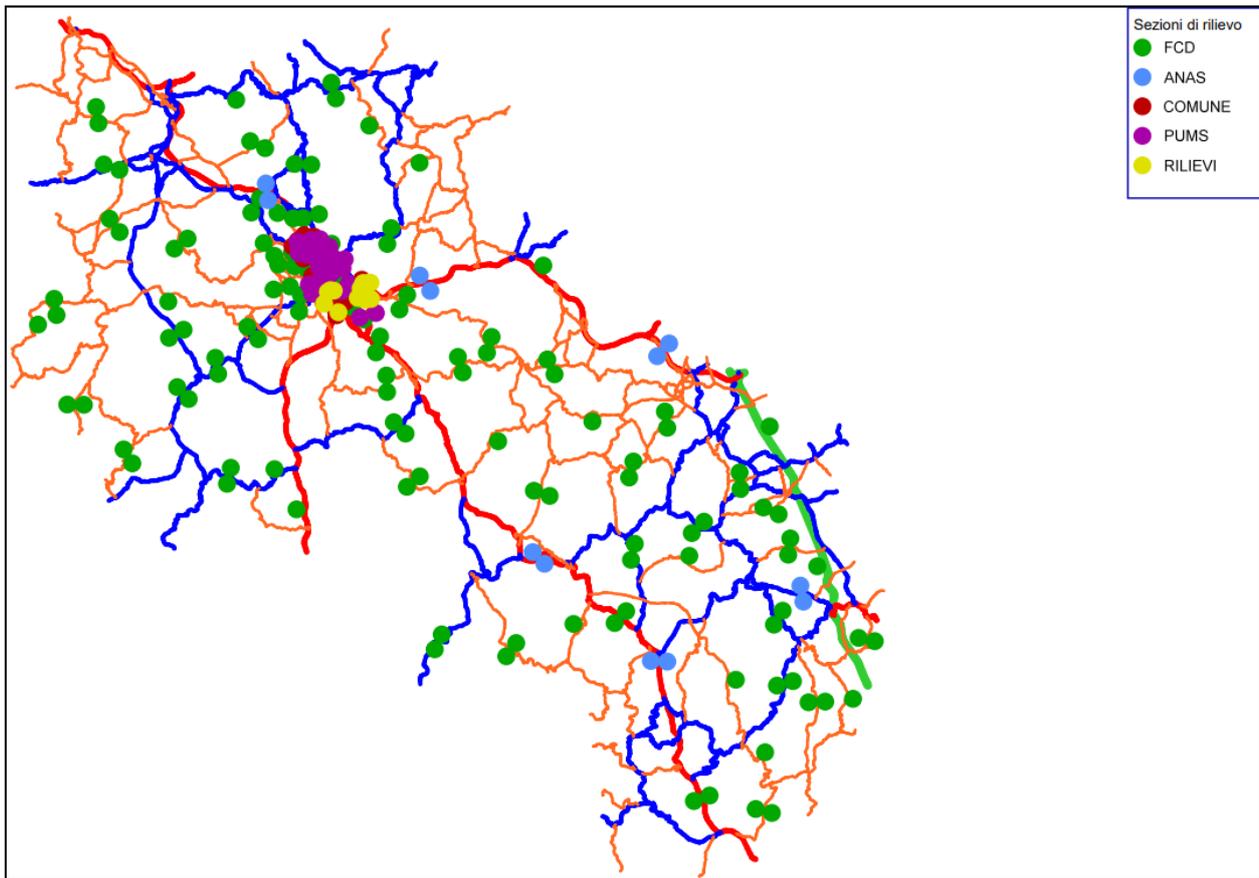


Figura 20 – Mappa delle sezioni di rilievo considerate

Si riporta nella successiva immagine un maggior dettaglio in prossimità dell'area di interesse, dove si può notare una maggior concentrazione di sezioni rilevate in periodo pre-Covid (fonti Comune di Siena e Pums).

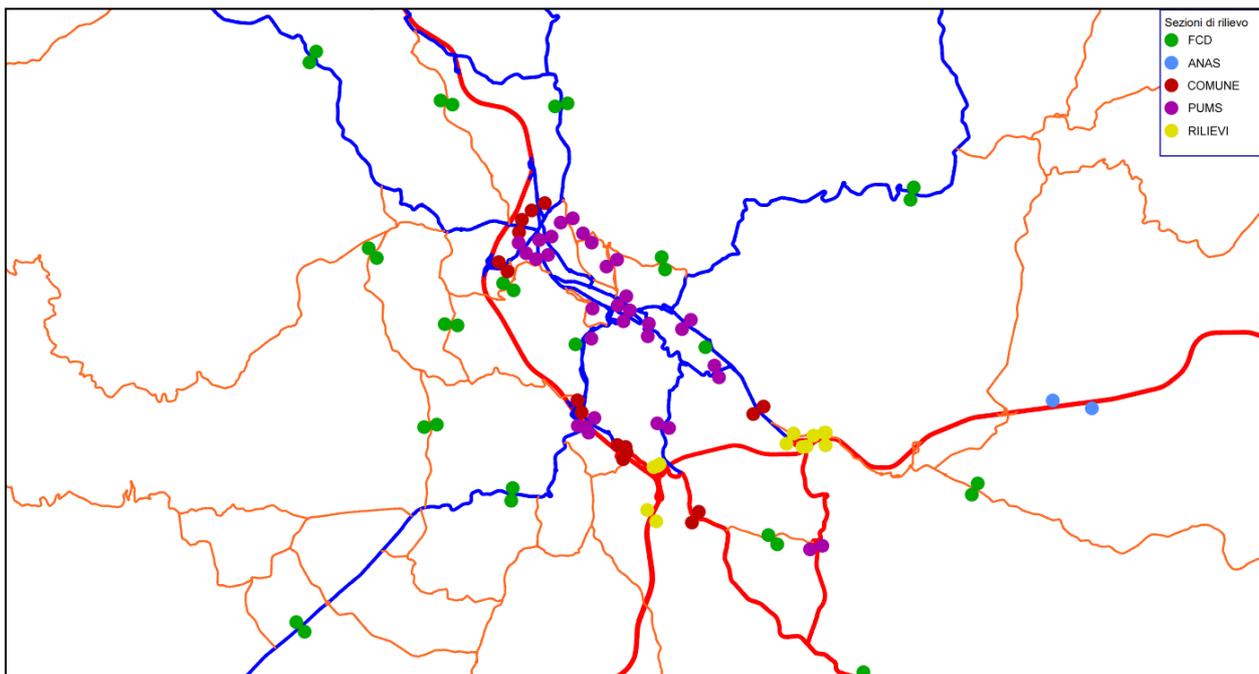


Figura 21 – Zoom sezioni di rilievo nell'area di interesse

4.4 La validazione del modello di traffico

L'assegnazione della matrice ottenuta dal procedimento di stima ha restituito la distribuzione attuale del traffico veicolare sulla rete stradale dell'intera Provincia di Siena, nell'ora di punta della sera del venerdì e della domenica.

L'attendibilità dei risultati conseguiti in termini di verosimiglianza tra distribuzione simulata e distribuzione reale dei flussi sulla rete di trasporto è stata verificata mediante la validazione dello scenario attuale.

Il metodo di verifica applicato è quello denominato dell'R2. Questa funzione statistica misura la correlazione esistente tra variabile indipendente (i flussi osservati) e variabile dipendente (i flussi stimati), attraverso la costruzione di un modello di regressione lineare: ha un valore compreso nell'intervallo 0-1, ove 1 indica perfetta correlazione e 0 indica totale indipendenza tra le due variabili.

Nell'utilizzare tale parametro statistico, occorre fare attenzione anche al valore di pendenza della retta di regressione, dove 1 indica l'assenza di distorsioni del bias (ovvero del valor medio delle due serie di dati: flussi osservati e flussi stimati). L'effettiva coincidenza dei dati osservati e misurati si ottiene soltanto laddove R2 e la pendenza assumano valore uguale a 1.

Convenzionalmente si tende a considerare come attendibili le risultanze dell'assegnazione di un modello di simulazione di traffico in grado di restituire una correlazione non inferiore a 0,80, mentre i valori di pendenza della retta di regressione dovrebbero essere compresi tra 0,9 e 1,1 (consentendo quindi oscillazioni in media di più o meno il 10% rispetto al valore misurato).

Tale soglia nominale viene, inoltre, valutata anche in ragione della numerosità dei punti di confronto, dal momento che più è esteso l'insieme dei punti di monitoraggio dei flussi, maggiore è la possibilità che possano rilevarsi distorsioni, magari di natura locale, rispetto alla tendenza generale del campione di analisi. Per quanto concerne il modello di traffico messo a punto, il confronto tra volumi di traffico simulati e volumi rilevati in campo e raccolti da fonti terze è stato effettuato con riferimento alle sezioni di confronto disponibili nell'intera banca dati.

Sotto il profilo delle risultanze, il test dell'R2 evidenzia l'elevata attendibilità dei risultati derivanti dalle assegnazioni del modello implementato; nelle immagini che seguono, relative ai risultati dell'analisi di assegnazione, sono riportati i valori del test dell'R2 e della pendenza per le simulazioni condotte rispetto allo scenario attuale per l'ora di punta della sera del venerdì e della domenica con riferimento all'area di studio. Si osservi come nell'area di studio si ottiene un valore di R2 pari a 0.96 per il venerdì sera e 0.98 per la domenica sera con le relative pendenze vicine allo 0.9 e all'1.

Si evidenzia che per la domenica è stato considerato un numero di sezioni minori rispetto al venerdì per la mancanza di dati disponibili da parte del PUMS, essendo tali dati relativi ai soli giorni feriali.

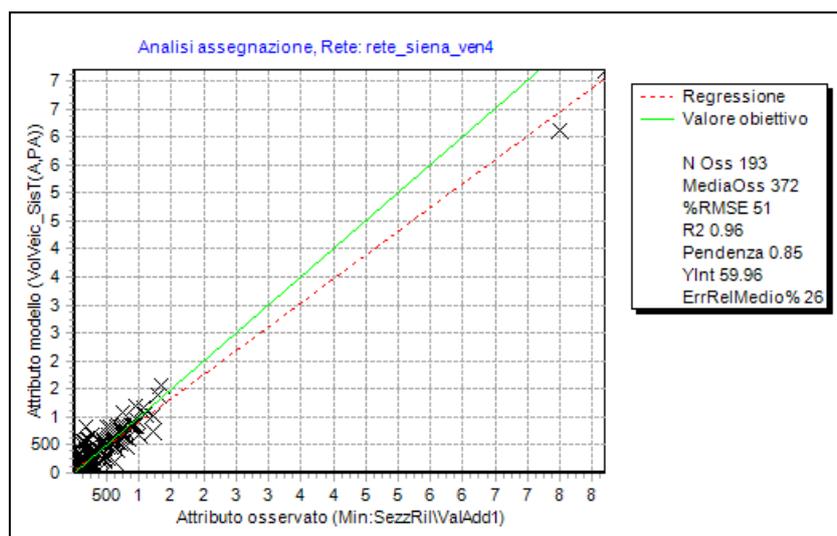


Figura 22 – Analisi assegnazione del venerdì sera per l'area di studio

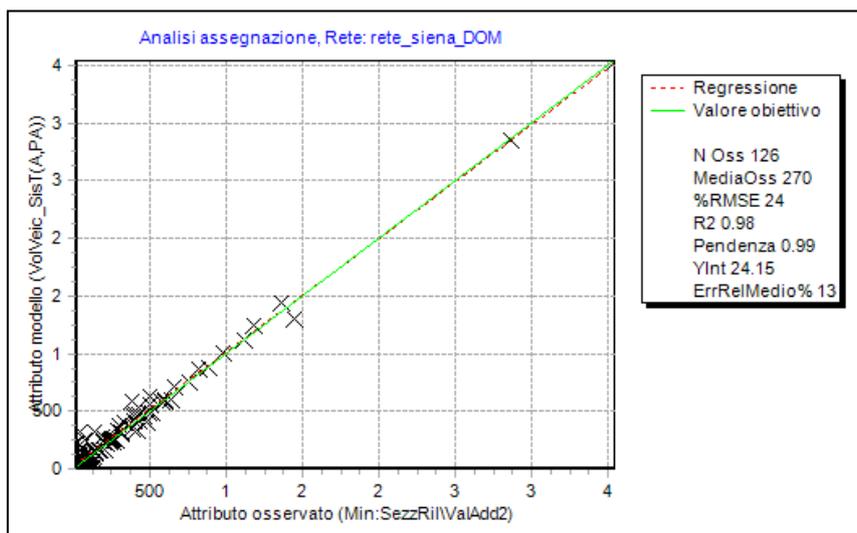


Figura 23 – Analisi assegnazione della domenica sera per l'area di studio

4.5 Risultati delle macrosimulazioni

La matrice O/D ottenuta dal processo di correzione e calibrazione dello scenario dello stato di fatto è stata quindi assegnata alla rete prevista per i diversi scenari di interesse (SDF e SDP), per stimare i relativi carichi attesi sugli archi della rete di studio, nell'ora di punta serale del venerdì e della domenica.

Nei paragrafi seguenti vengono mostrati i risultati ottenuti in forma grafica.

Il diagramma di carico, che costituisce uno dei risultati principali delle simulazioni effettuate, riporta l'entità del traffico su ciascun arco stradale della rete di trasporto complessiva, mediante una visualizzazione basata principalmente sul colore delle bande che descrivono i flussi (flussogrammi): i colori delle bande identificano la fascia di traffico corrispondente sull'arco.

Vengono riportati anche i flussogrammi Flusso/Capacità, utili a definire i Livelli di Servizio (LdS) per il venerdì e la domenica negli scenari SDF e SDP: in particolare vengono considerati per ciascun arco i flussi bidirezionali per poi calcolare il rapporto flusso/capacità. Si riportano anche degli zoom sulla rete prossima all'area d'intervento in cui si mostra, oltre alla classificazione, anche il valore assoluto del rapporto Flusso/Capacità.

4.5.1 Stato di fatto (SDF)

Qui di seguito vengono riportati il diagramma di carico in termini di veicoli totali e i grafi flusso/capacità relativi all'ora di punta della sera del venerdì e della domenica degli scenari stato di fatto per l'area di studio.

Per maggior chiarezza di lettura sono riportati anche i flussogrammi relativi al Lotto 0 e agli svincoli di Cerchiaia e di Ruffolo e le tabelle in cui sono indicati i flussi di traffico, distinti in leggeri, pesanti ed equivalenti, per ogni tratta elementare sia per l'ora di punta che relativamente al traffico giornaliero medio (TGM) del venerdì e della domenica: ogni tratta è individuata da codici numerici analoghi a quelli impiegati per illustrare le composizioni veicolari e che, per semplicità di lettura, vengono riportati nelle immagini sottostanti. Per determinare i veicoli equivalenti è stato impiegato un coefficiente di equivalenza per i mezzi pesanti pari a 2.5.



Figura 24 – SDF: codici numerici Lotto 0

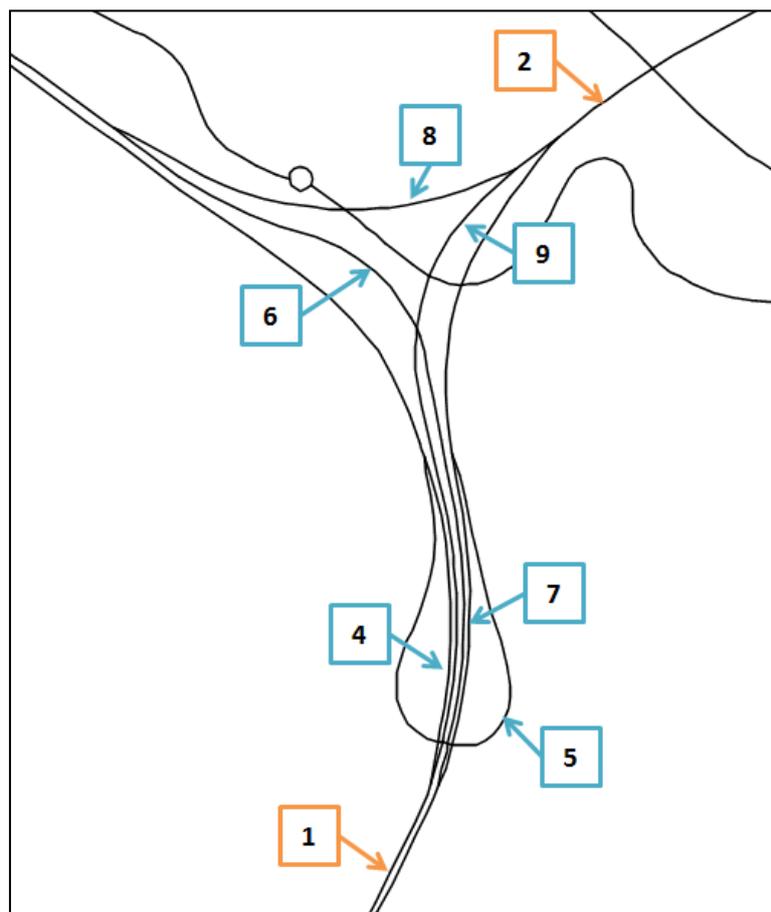


Figura 25 – SDF: codici numerici svincolo di Cerchiaia

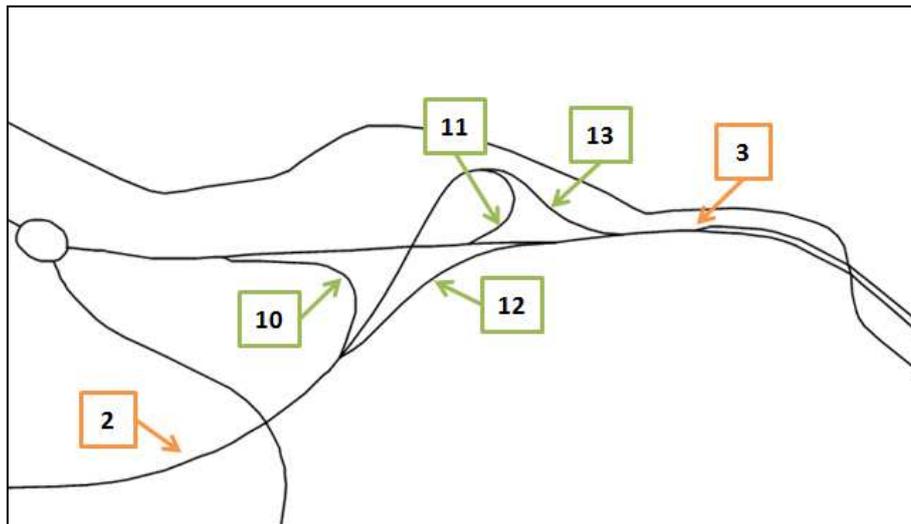


Figura 26 – SDF: codici numerici svincolo di Ruffolo

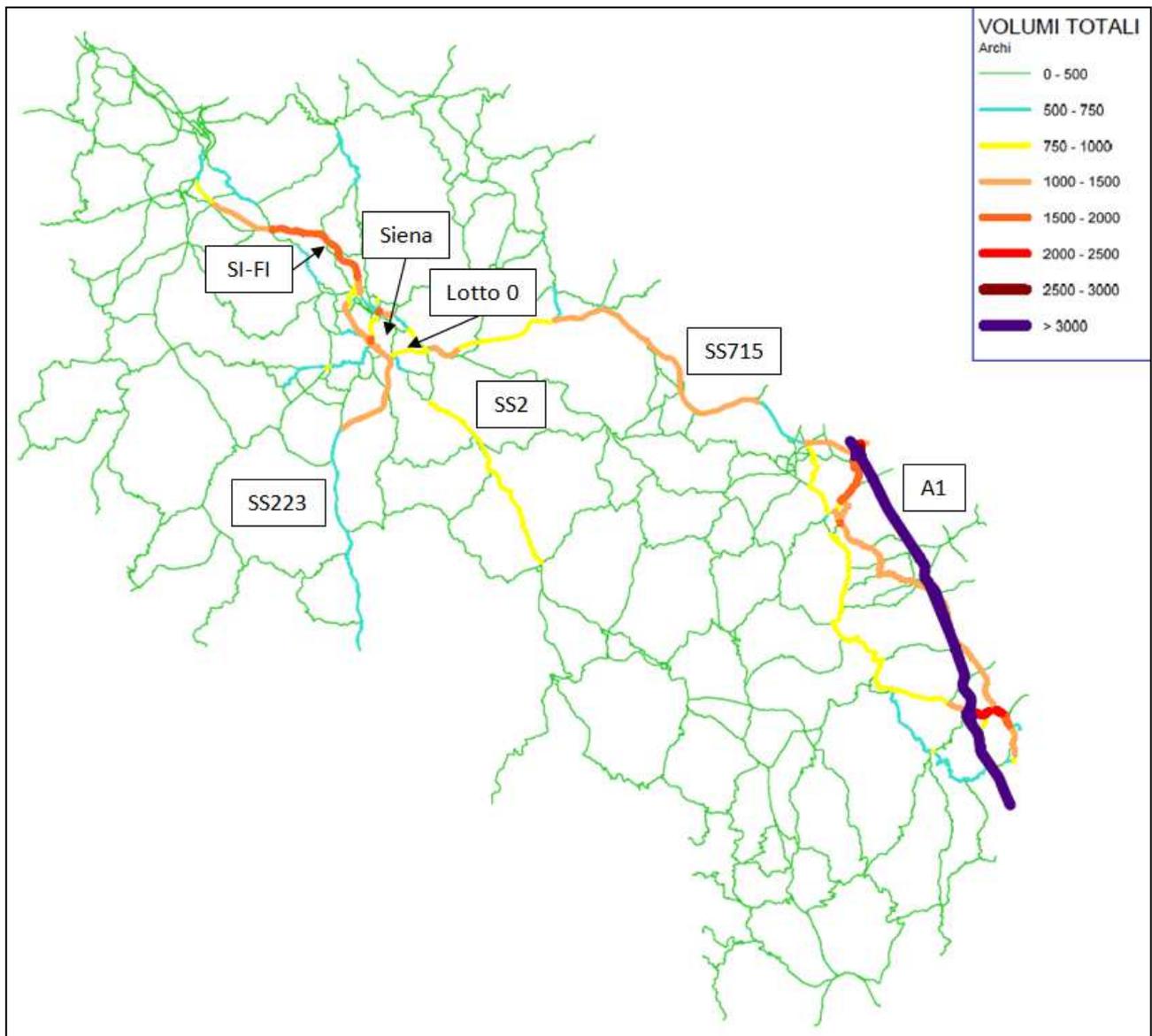


Figura 27 – SDF venerdì sera: flussogramma Provincia di Siena [veicoli totali]

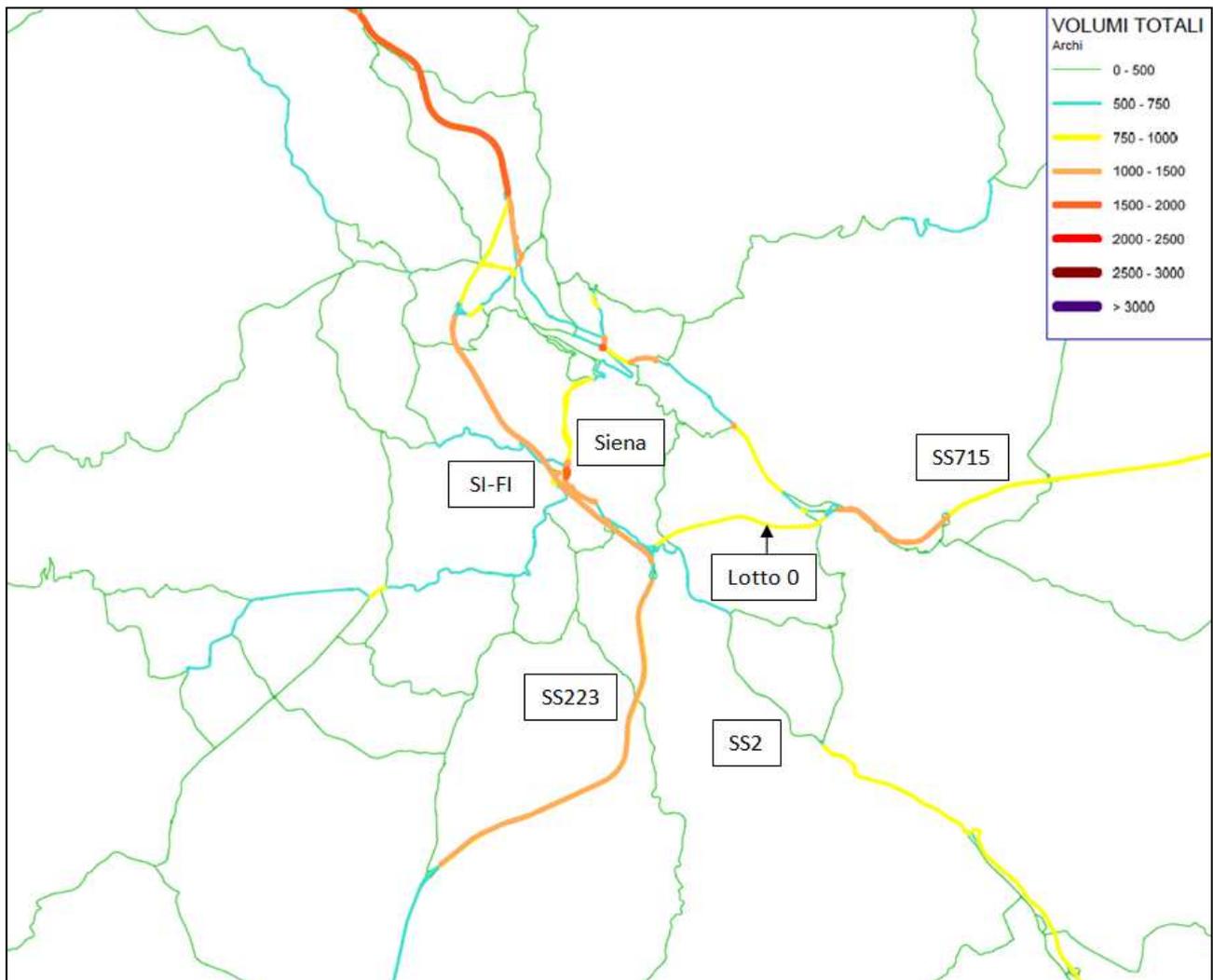


Figura 28 – SDF venerdì sera: flussogramma area di Siena [veicoli totali]

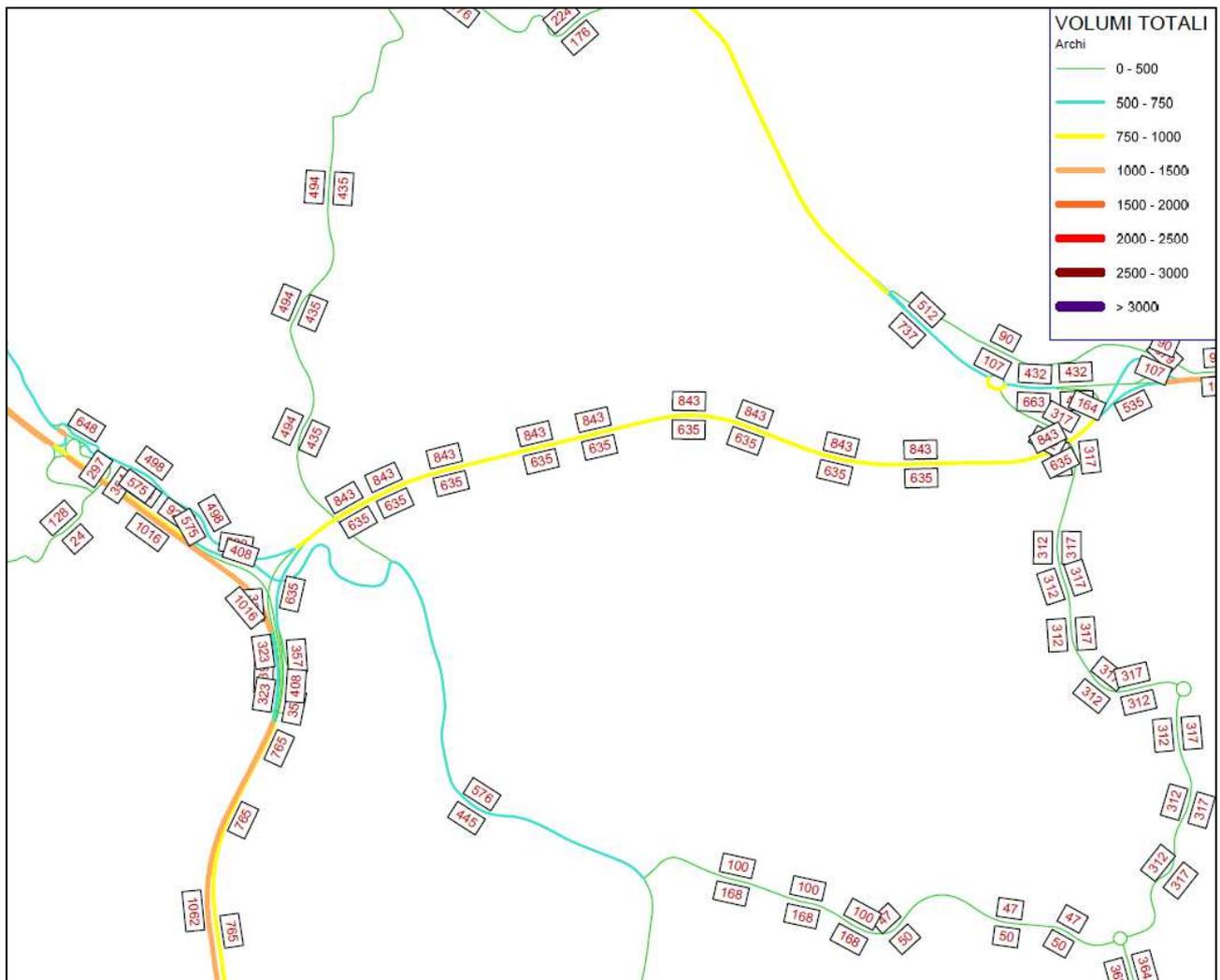


Figura 29 – SDF venerdì sera: flussogramma Lotto 0 [veicoli totali]

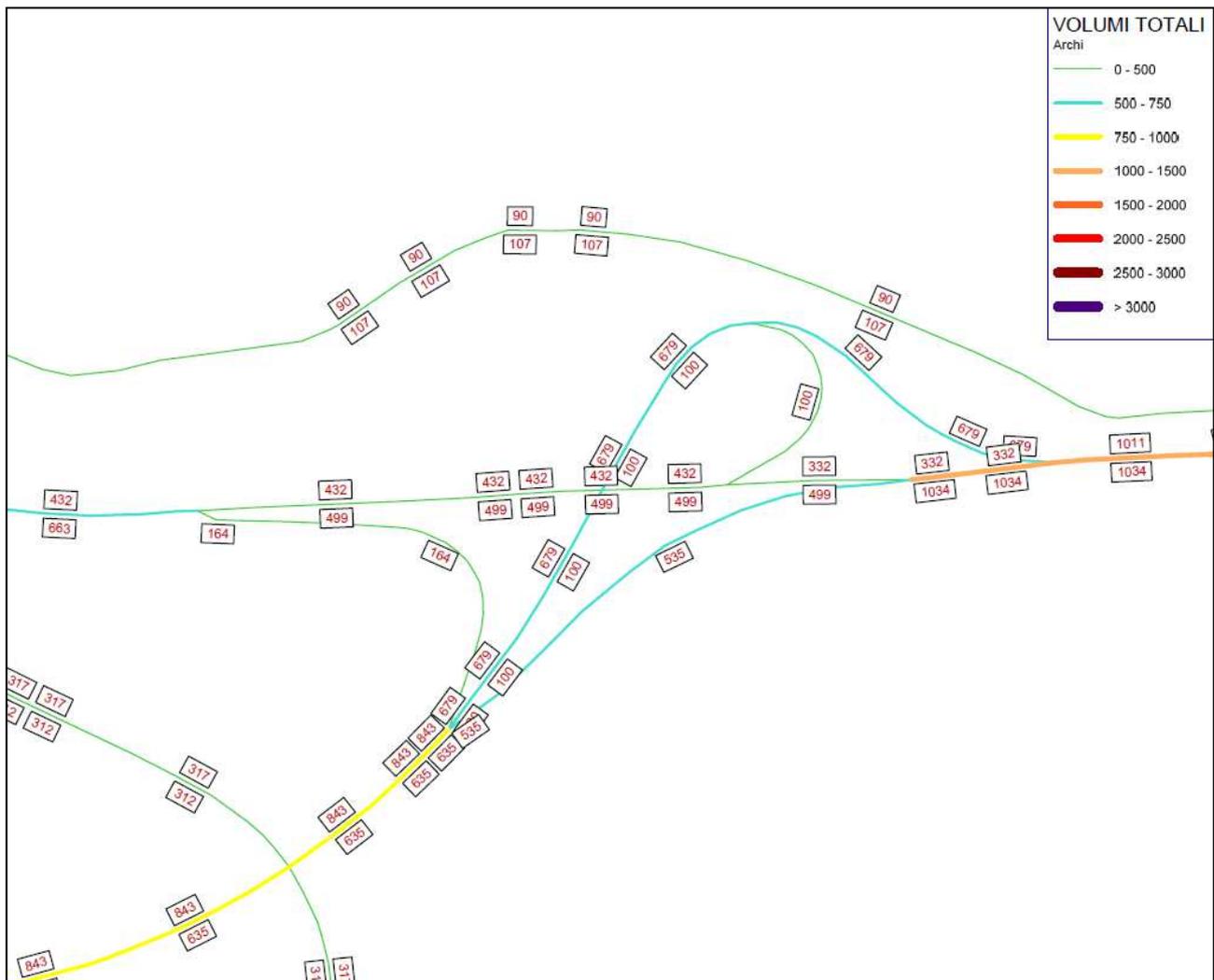


Figura 31 – SDF venerdì sera: flussogramma svincolo di Ruffolo [veicoli totali]

SDF VENERDI' SERA: VALORI FLUSSI ORA DI PUNTA									
Numero	Tratta	Descrizione	Direzione	L	P	Tot	% P	Tot eq.	
1	Lotto 0	A monte dello svincolo di	Nord	674	91	765	12%	902	
			Sud	946	115	1061	11%	1234	
2		Tra i due svincoli	Est	560	74	634	12%	745	
			Ovest	745	98	843	12%	990	
3		A valle dello svincolo di Ruffolo	Est	950	83	1033	8%	1158	
			Ovest	919	92	1011	9%	1149	
4		Svincolo di Cerchiaia	Rampa FI-GR	-	666	73	739	10%	849
5			Rampa FI-AR	-	244	33	277	12%	326
6			Rampa GR-FI	-	355	52	407	13%	485
7			Rampa GR-AR	-	320	37	357	10%	413
8			Rampa AR-FI	-	453	67	520	13%	621
9			Rampa AR-GR	-	282	40	322	12%	382
10		Svincolo di Ruffolo	Rampa SI-CE	-	147	17	164	10%	190
11	Rampa CE-SI		-	81	19	100	19%	128	
12	Rampa CE-AR		-	487	47	534	9%	605	
13	Rampa AR-CE		-	591	88	679	13%	811	

Tabella 11 – SDF venerdì sera: flussi nell'ora di punta

SDF VENERDI' SERA: VALORI FLUSSI TGM									
Numero	Tratta	Descrizione	Direzione	L	P	Tot	% P	Tot eq.	
1	Lotto 0	A monte dello svincolo di	Nord	10302	2019	12322	16%	15350	
			Sud	10350	1934	12284	16%	15185	
2		Tra i due svincoli	Est	9189	2284	11473	20%	14899	
			Ovest	8961	2227	11188	20%	14529	
3		A valle dello svincolo di Ruffolo	Est	13095	1814	14909	12%	17630	
			Ovest	13236	1934	15171	13%	18072	
4		Svincolo di Cerchiaia	Rampa FI-GR	-	7101	1099	8201	13%	9849
5			Rampa FI-AR	-	5309	1206	6515	19%	8324
6			Rampa GR-FI	-	6263	1101	7364	15%	9015
7			Rampa GR-AR	-	3982	975	4958	20%	6421
8	Rampa AR-FI		-	5582	1523	7105	21%	9389	
9	Rampa AR-GR		-	3248	836	4084	20%	5337	
10	Svincolo di Ruffolo		Rampa SI-CE	-	1265	528	1793	29%	2586
11		Rampa CE-SI	-	1226	431	1657	26%	2303	
12		Rampa CE-AR	-	8146	1670	9816	17%	12321	
13		Rampa AR-CE	-	7639	1756	9395	19%	12029	

Tabella 12 – SDF venerdì sera: flussi TGM

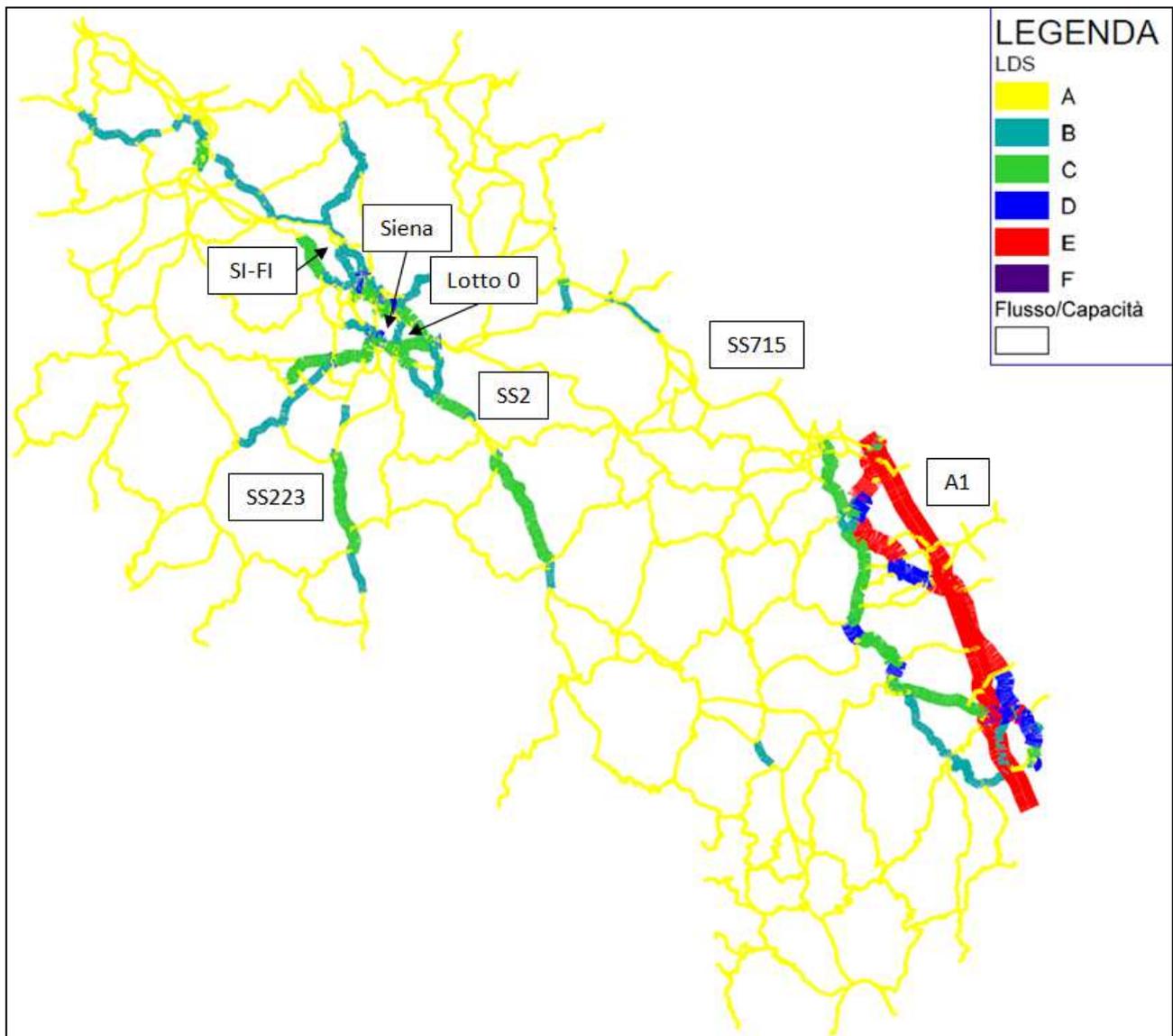


Figura 32 – SDF venerdì sera: livelli di servizio Provincia di Siena

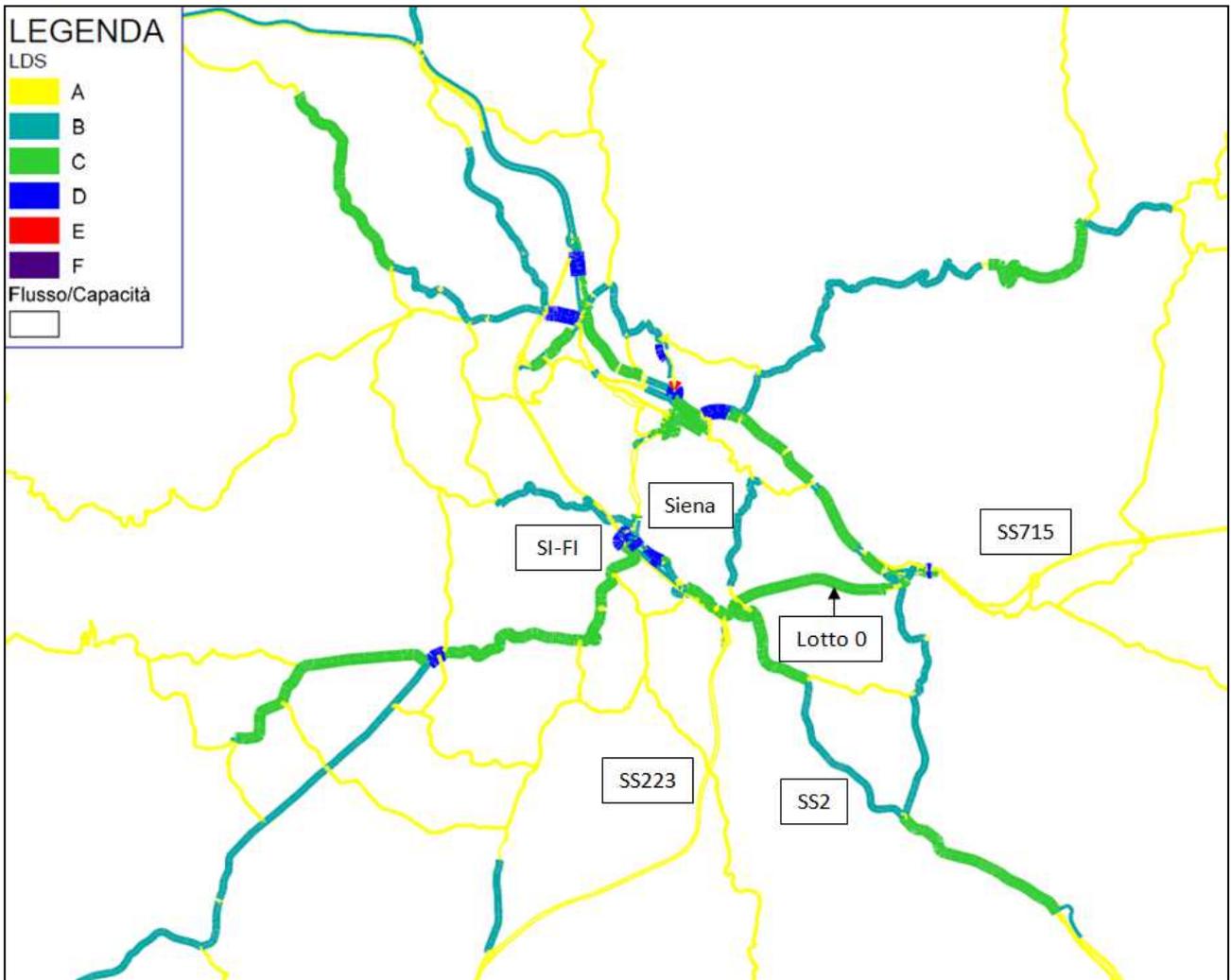


Figura 33 – SDF venerdì sera: livelli di servizio area di Siena

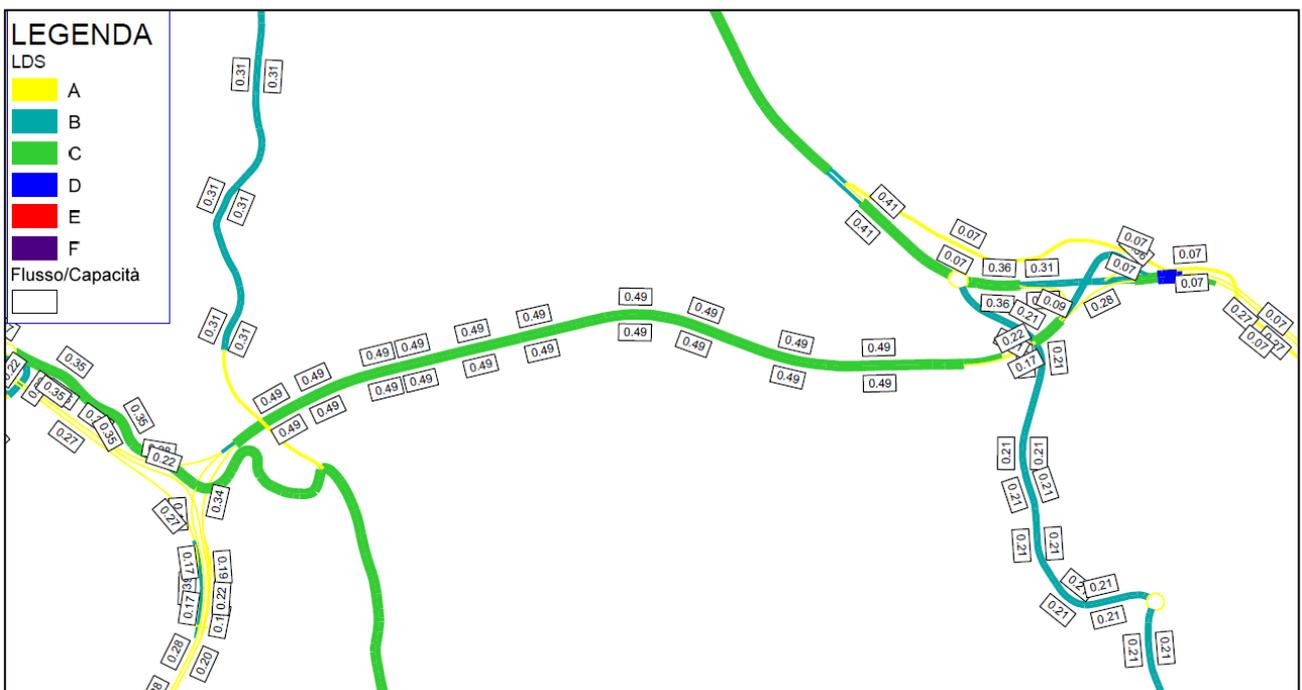


Figura 34 – SDF venerdì sera: livelli di servizio Lotto 0

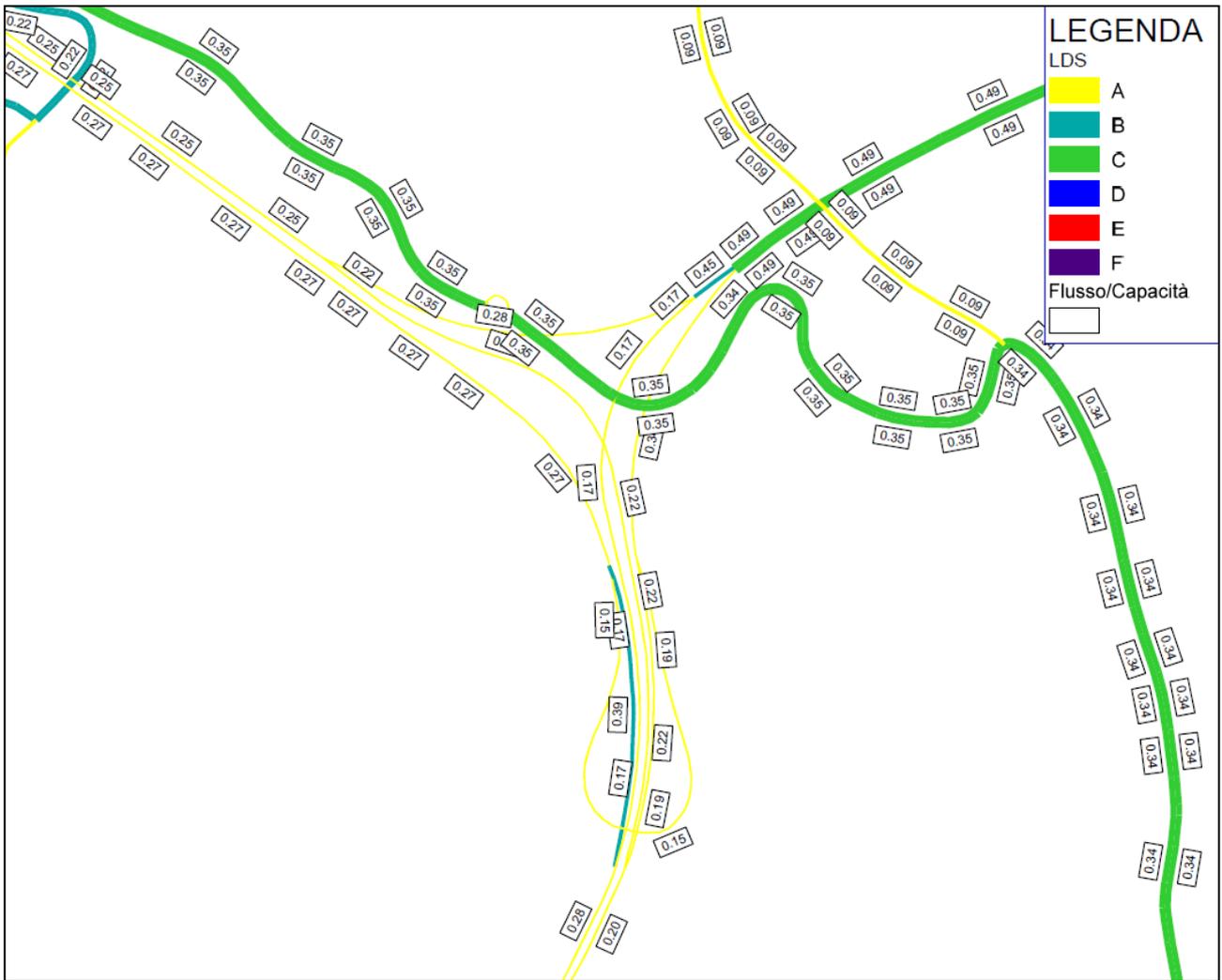


Figura 35 – SDF venerdì sera: livelli di servizio svincolo di Cerchiaia

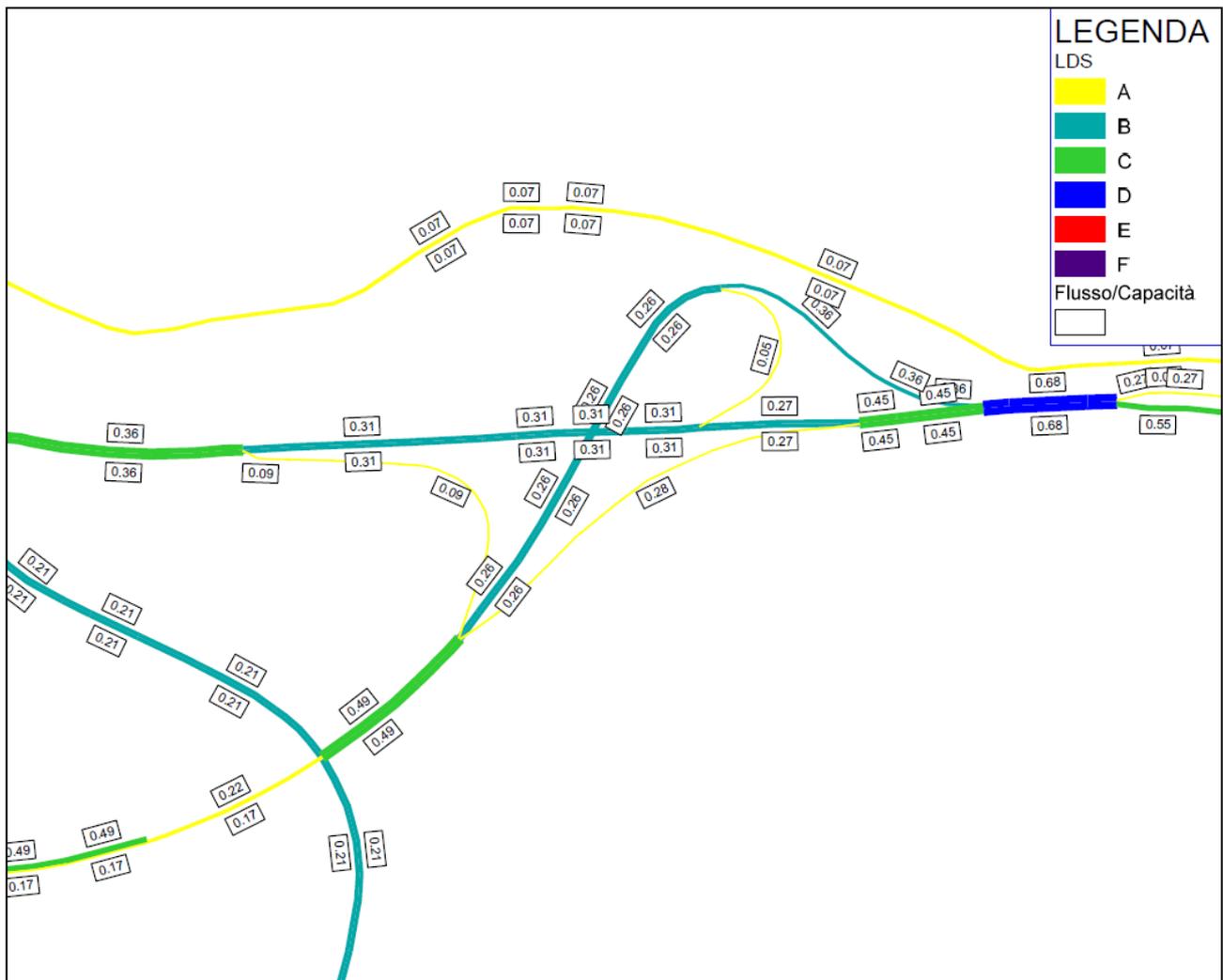


Figura 36 – SDF venerdì sera: livelli di servizio svincolo di Ruffolo

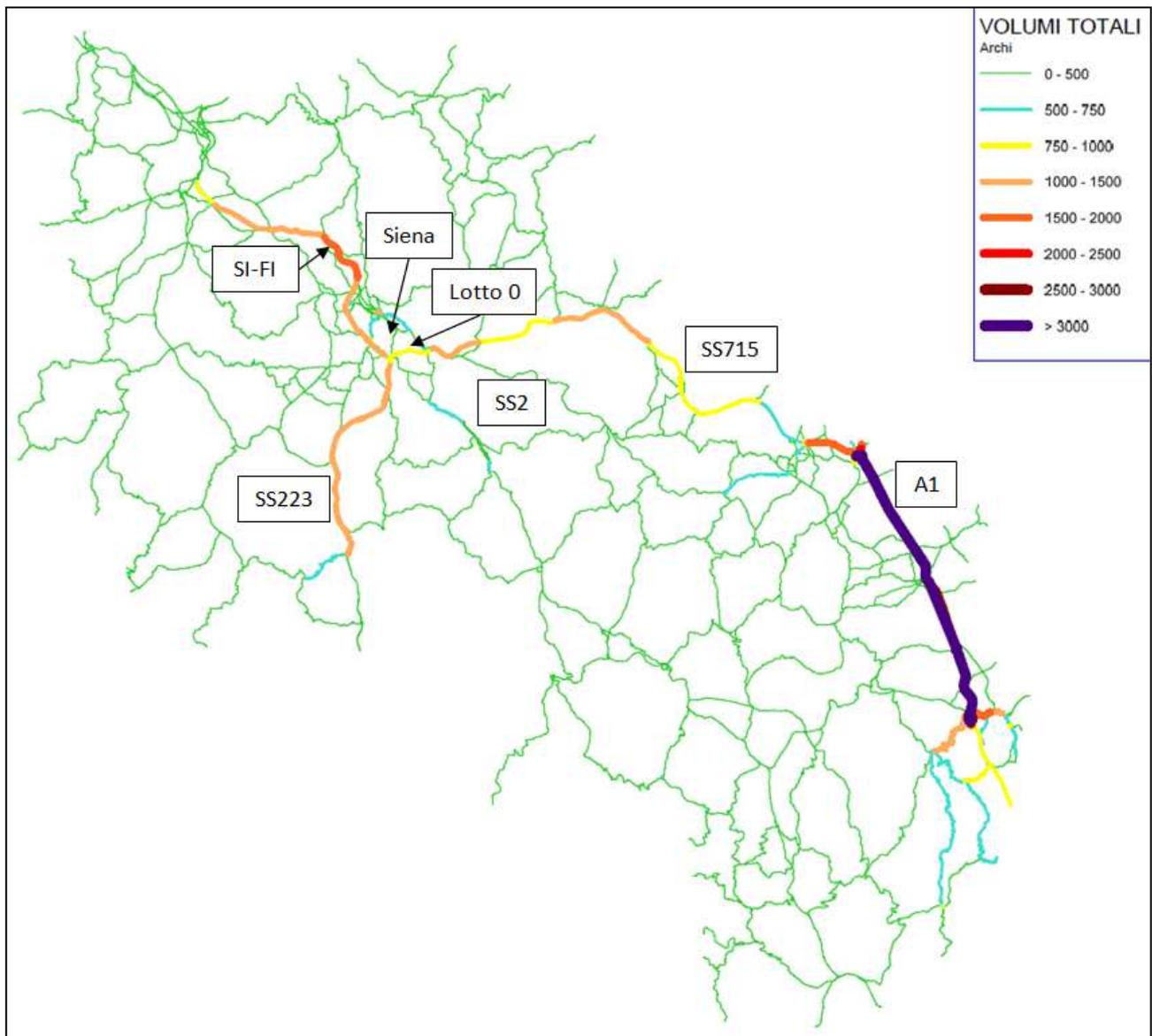


Figura 37 – SDF domenica sera: flussogramma Provincia di Siena [veicoli totali]

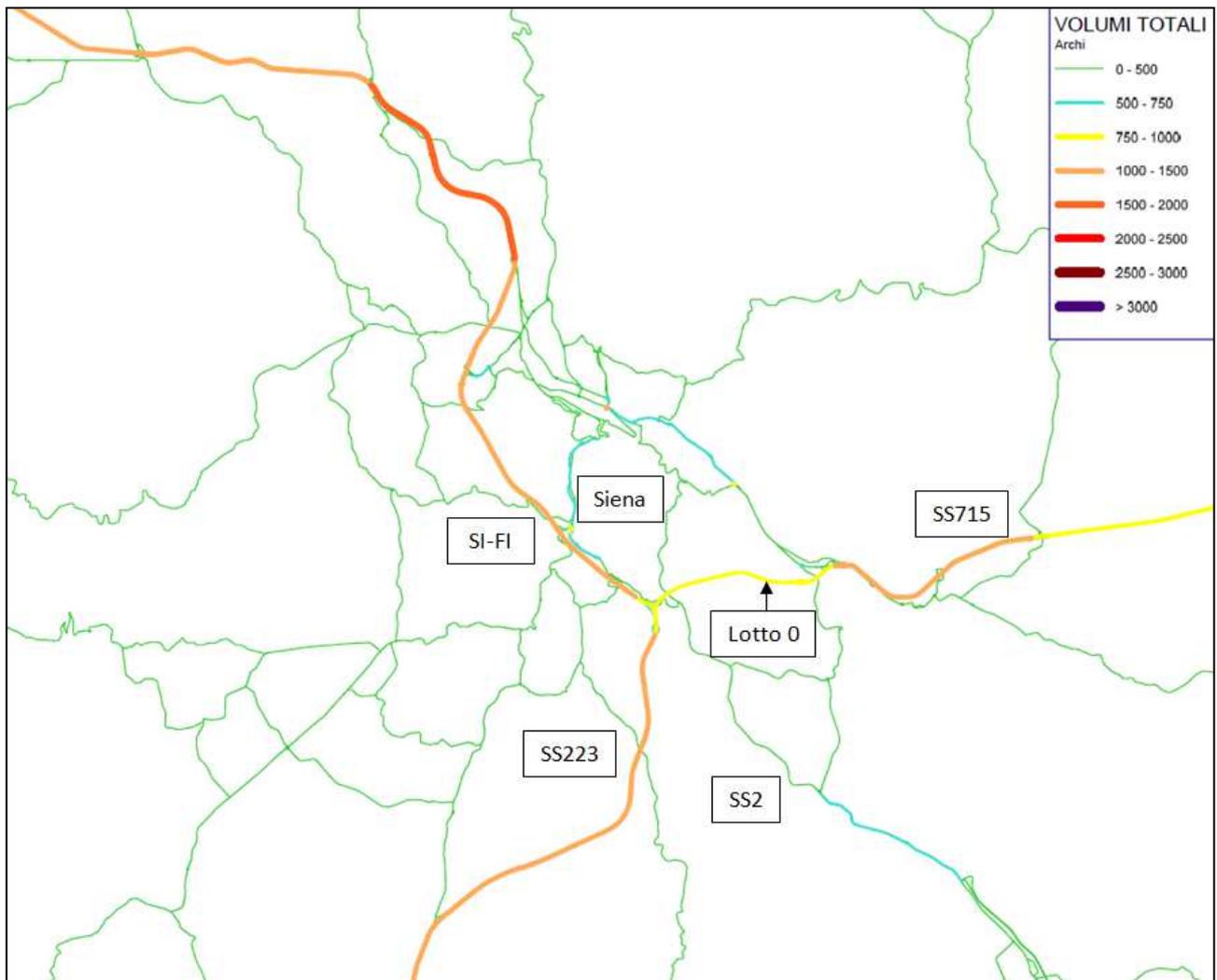


Figura 38 – SDF domenica sera: flussogramma area di Siena [veicoli totali]

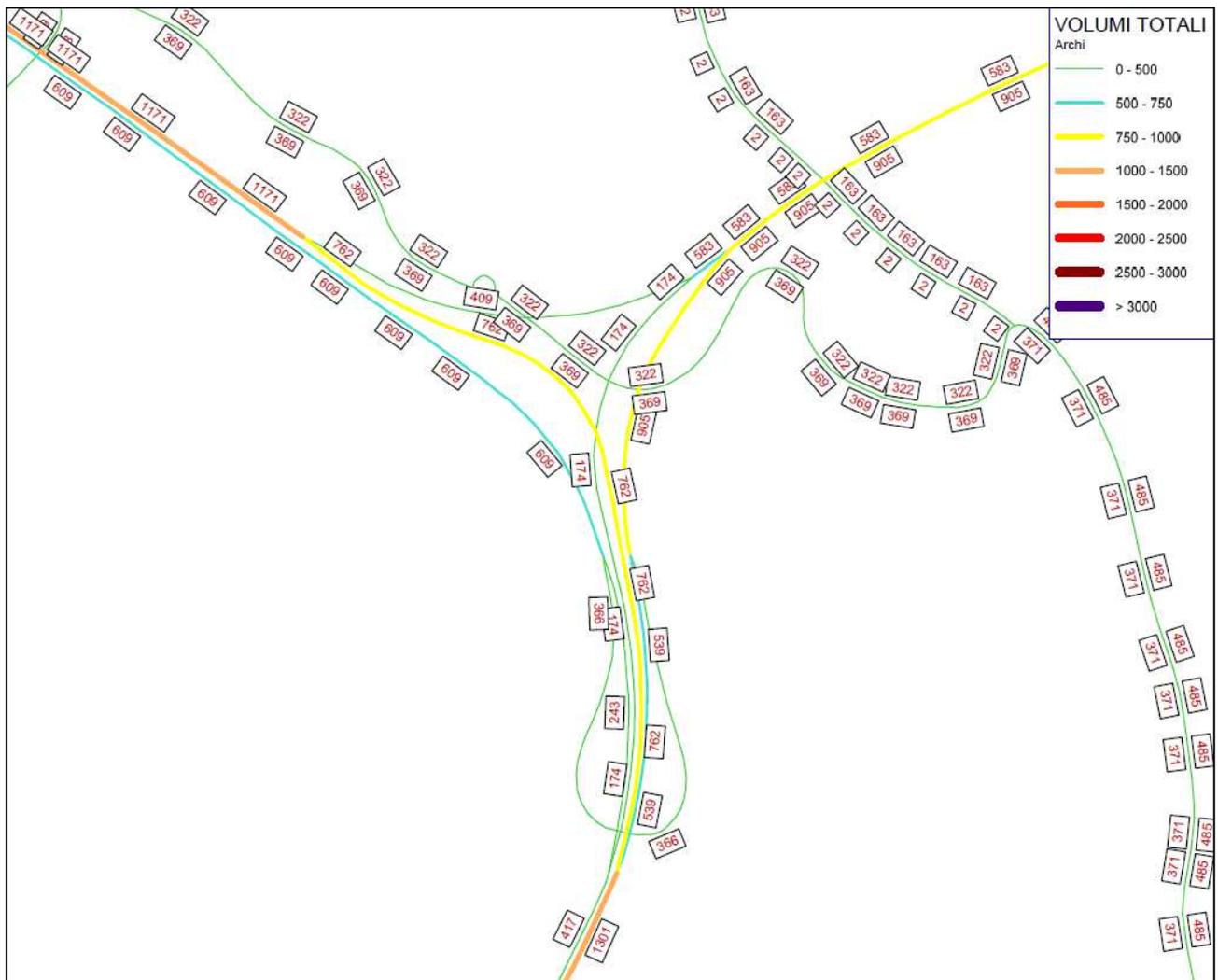


Figura 40 – SDF domenica sera: flussogramma svincolo di Cerchiaia [veicoli totali]

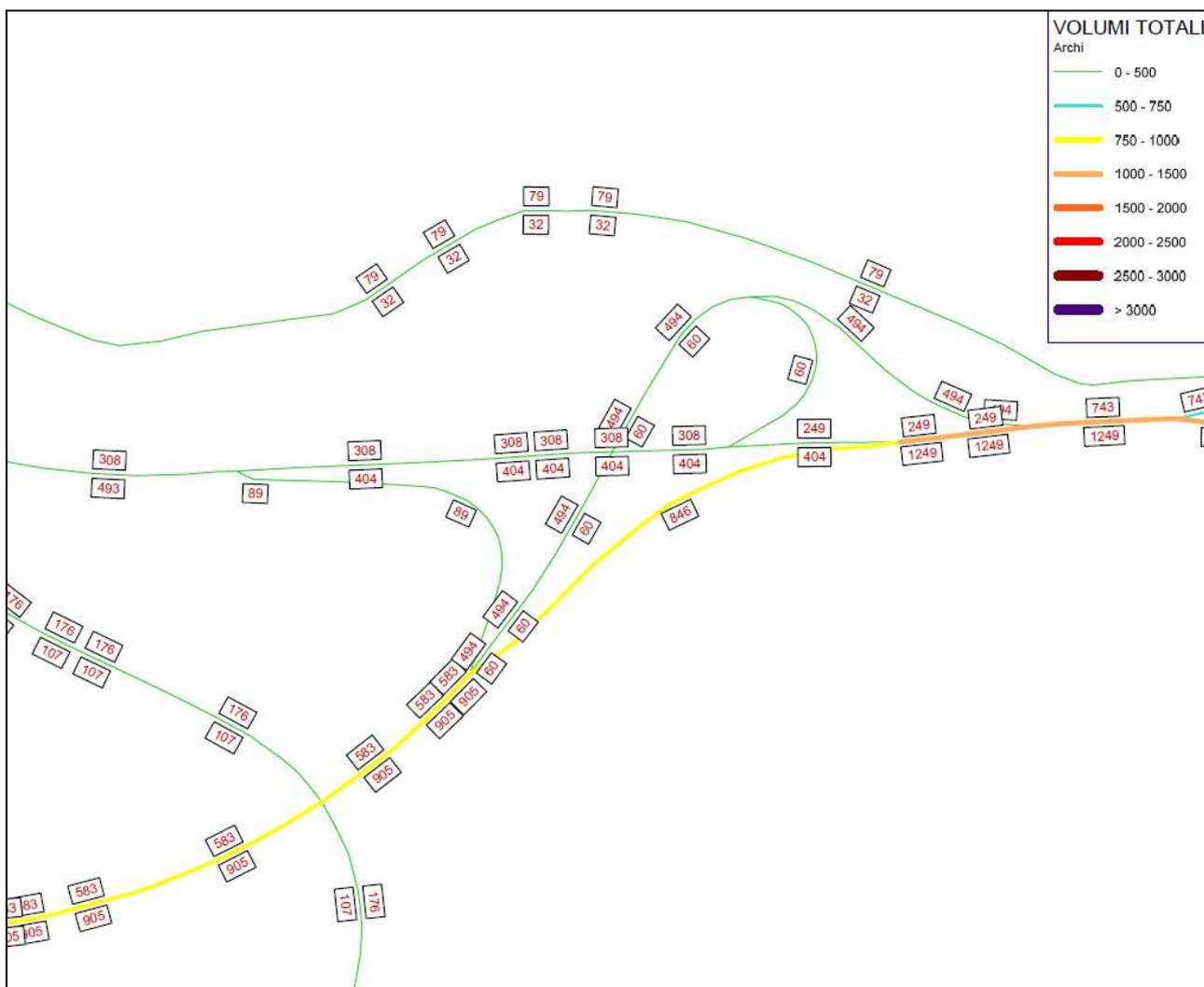


Figura 41 – SDF domenica sera: flussogramma svincolo di Ruffolo [veicoli totali]

SDF DOMENICA SERA: VALORI FLUSSI ORA DI PUNTA									
Numero	Tratta	Descrizione	Direzione	L	P	Tot	% P	Tot eq.	
1	Lotto 0	A monte dello svincolo di	Nord	1259	42	1301	3%	1365	
			Sud	403	14	417	3%	438	
2		Tra i due svincoli	Est	871	35	905	4%	957	
			Ovest	561	22	583	4%	617	
3		A valle dello svincolo di Ruffolo	Est	1213	37	1249	3%	1304	
			Ovest	717	26	743	3%	781	
4		Svincolo di Cerchiaia	Rampa FI-GR	-	234	9	243	4%	257
5			Rampa FI-AR	-	348	18	366	5%	392
6			Rampa GR-FI	-	729	33	762	4%	811
7			Rampa GR-AR	-	531	8	539	1%	551
8			Rampa AR-FI	-	391	19	409	5%	438
9			Rampa AR-GR	-	169	5	174	3%	181
10		Svincolo di Ruffolo	Rampa SI-CE	-	88	1	89	1%	91
11	Rampa CE-SI		-	58	1	60	2%	62	
12	Rampa CE-AR		-	817	28	846	3%	888	
13	Rampa AR-CE		-	469	25	494	5%	531	

Tabella 13 – SDF domenica sera: flussi nell'ora di punta

SDF DOMENICA SERA: VALORI FLUSSI TGM									
Numero	Tratta	Descrizione	Direzione	L	P	Tot	% P	Tot eq.	
1	Lotto 0	A monte dello svincolo di	Nord	10304	457	10762	4%	11448	
			Sud	10174	509	10683	5%	11446	
2		Tra i due svincoli	Est	9263	650	9913	7%	10888	
			Ovest	9951	698	10649	7%	11696	
3		A valle dello svincolo di Ruffolo	Est	13038	628	13667	5%	14610	
			Ovest	12234	617	12851	5%	13776	
4		Svincolo di Cerchiaia	Rampa FI-GR	-	5343	286	5628	5%	6057
5			Rampa FI-AR	-	4759	392	5151	8%	5740
6			Rampa GR-FI	-	5699	301	6000	5%	6451
7			Rampa GR-AR	-	4632	130	4762	3%	4957
8	Rampa AR-FI		-	5166	428	5594	8%	6235	
9	Rampa AR-GR		-	4838	217	5055	4%	5381	
10	Svincolo di Ruffolo		Rampa SI-CE	-	1034	42	1076	4%	1139
11		Rampa CE-SI	-	595	18	613	3%	640	
12		Rampa CE-AR	-	8702	598	9301	6%	10198	
13		Rampa AR-CE	-	8872	701	9573	7%	10624	

Tabella 14 – SDF domenica sera: flussi TGM

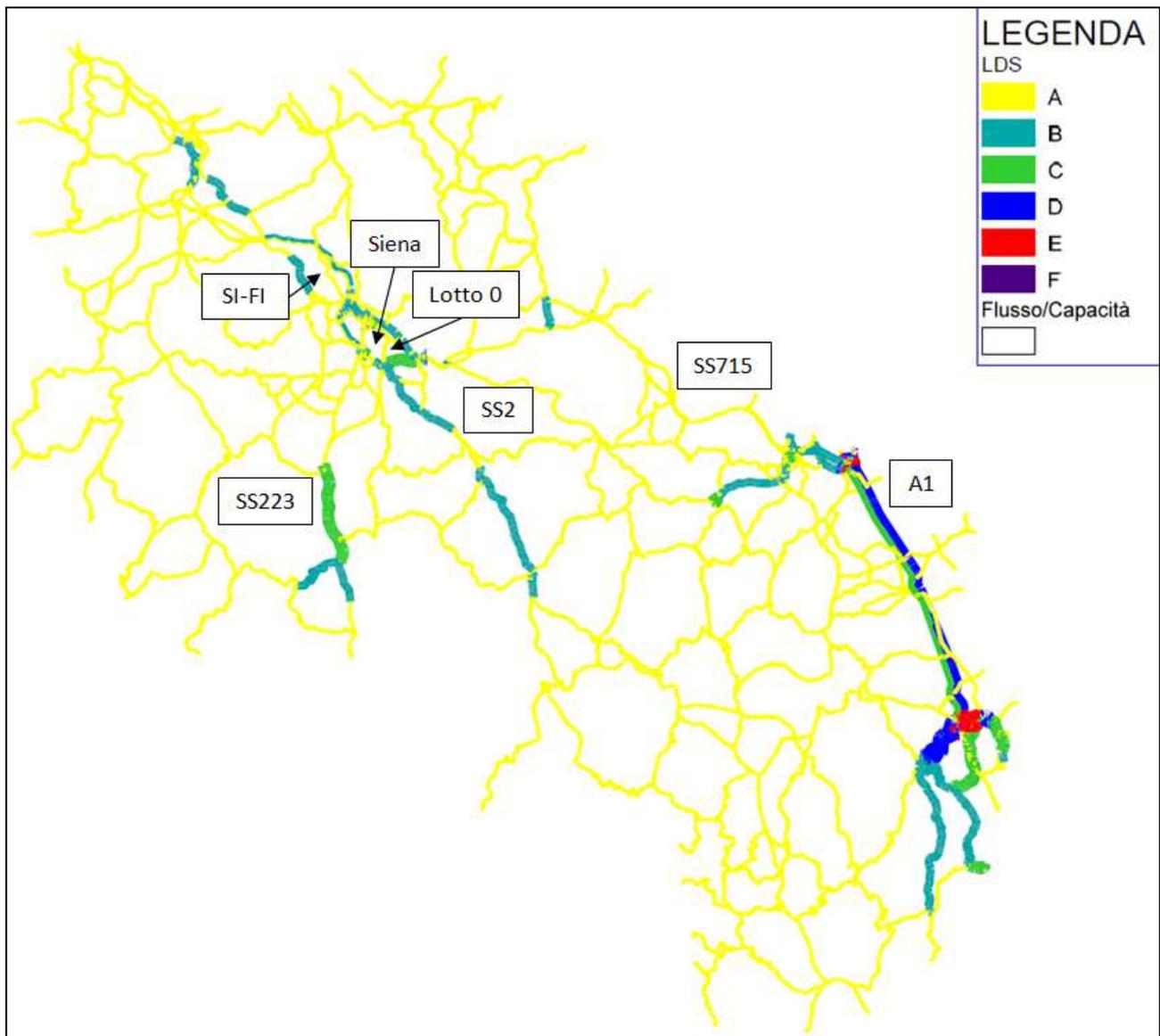


Figura 42 – SDF domenica sera: livelli di servizio Provincia di Siena

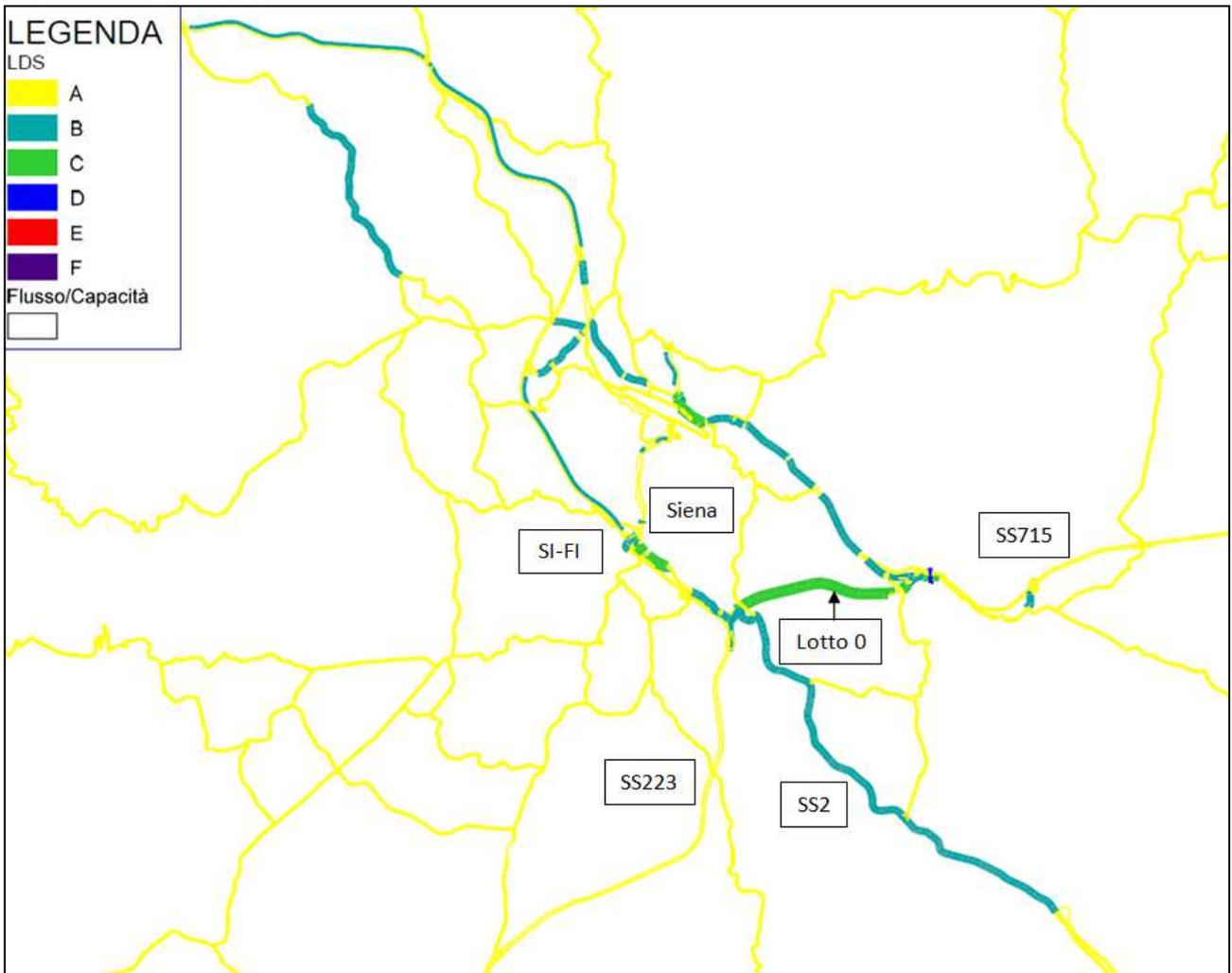


Figura 43 – SDF domenica sera: livelli di servizio area di Siena

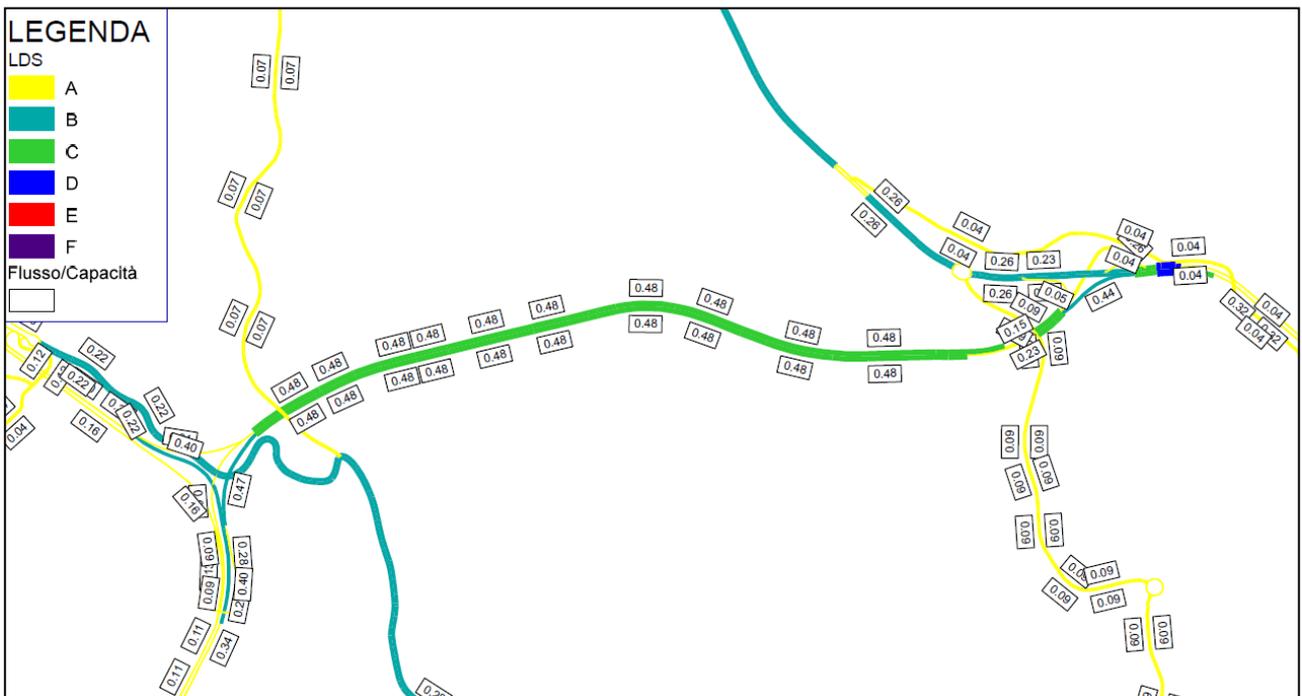


Figura 44 – SDF domenica sera: livelli di servizio Lotto 0

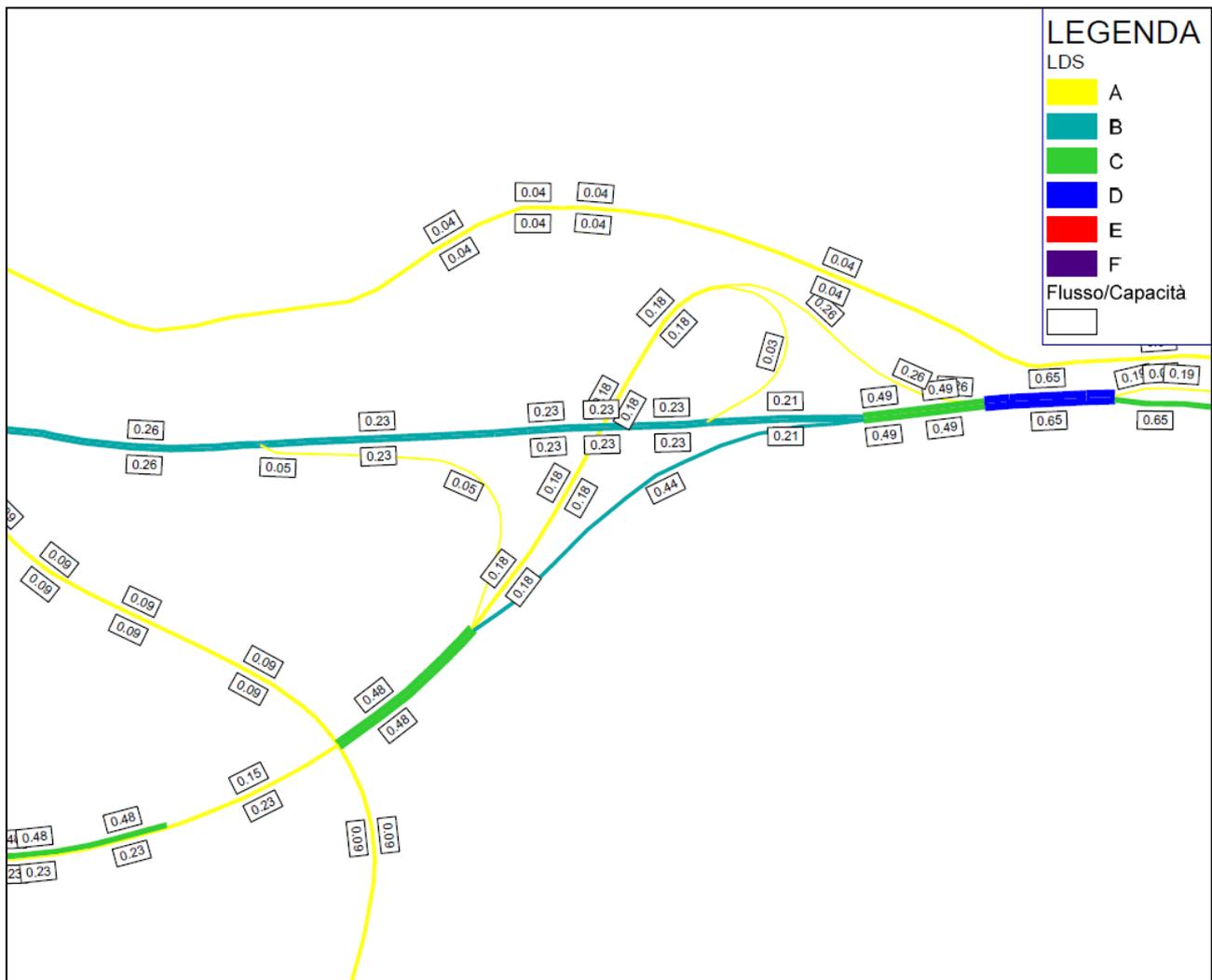


Figura 46 – SDF domenica sera: livelli di servizio svincolo di Ruffolo

4.5.2 Tasso di crescita

Al fine di valutare l'entità dei flussi che interesserà la rete stradale dell'area di studio è stato considerato come orizzonte temporale di riferimento l'anno 2025, in cui si prevede l'entrata in esercizio dell'infrastruttura di progetto.

Per poter determinare l'entità del tasso di crescita della domanda di trasporto relativa a tale orizzonte temporale si è fatto riferimento a quanto contenuto nel Piano Regionale Integrato Infrastrutture e Mobilità (di seguito indicato brevemente come PRIIM) della Regione Toscana del 2014.

Nel suddetto documento, per poter effettuare delle previsioni della domanda di trasporto, si sono prese in considerazione le più recenti proiezioni del Fondo Monetario Internazionale relative all'economia italiana che prevedono un tasso di crescita pari a circa l'1% a partire dal 2015: pertanto per il 2025, è previsto un incremento di circa il **5%** della domanda di traffico.

4.5.3 Scenario progettuale (SDP)

Sono state condotte delle simulazioni dello scenario progettuale per le ore di punta serali analizzate considerando l'incremento di traffico previsto al 2025 e la realizzazione della nuova infrastruttura E78 e dall'intervento programmatico della Cassia.

Qui di seguito sono riportati i diagrammi di carico, in termini di veicoli totali, e i grafi flusso/capacità per la definizione dei livelli di servizio degli archi stradali, relativi al venerdì e alla domenica

sera.

Per maggior chiarezza di lettura sono riportati anche i flussogrammi relativi al Lotto 0 e agli svincoli di Cerchiaia e di Ruffolo e le tabelle in cui sono indicati i flussi di traffico, distinti in leggeri, pesanti ed equivalenti, per ogni tratta elementare sia per l'ora di punta che relativamente al traffico giornaliero medio (TGM) del venerdì e della domenica: ogni tratta è individuata da codici numerici riportati nelle immagini sottostanti. Per determinare i veicoli equivalenti è stato impiegato un coefficiente di equivalenza per i mezzi pesanti pari a 2.5.

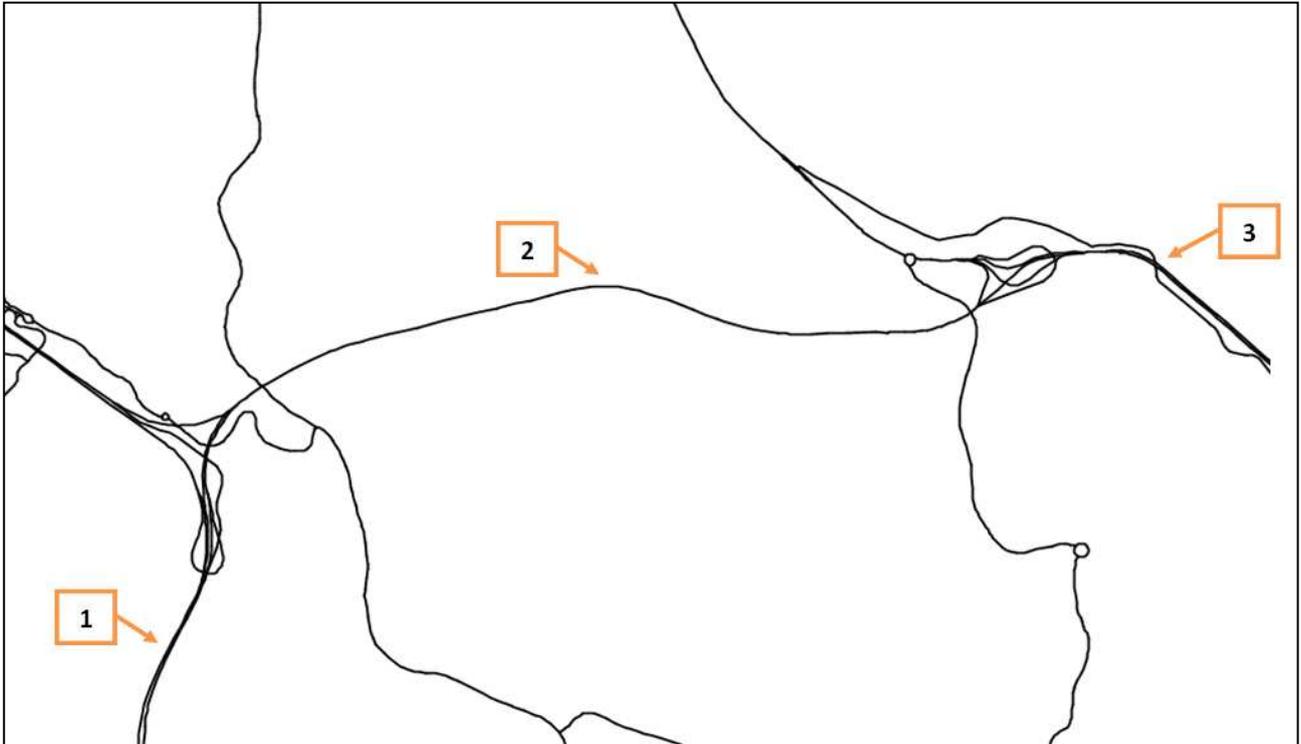


Figura 47 – SDP: Codici numerici Lotto 0



Figura 48 – SDP: Codici numerici svincolo di Cerchiaia

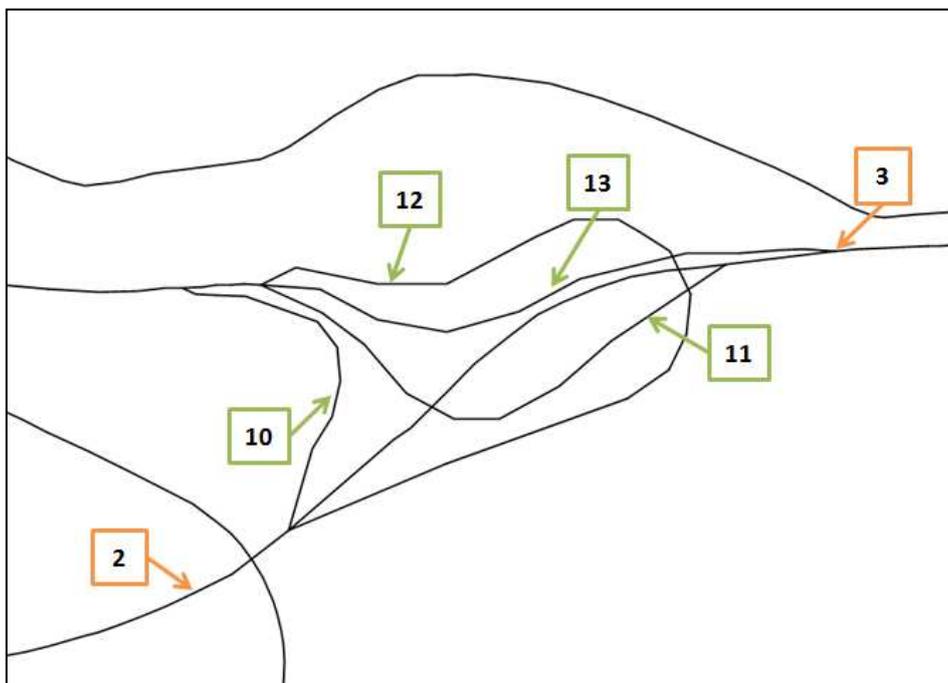


Figura 49 - SDP: Codici numerici svincolo di Ruffolo

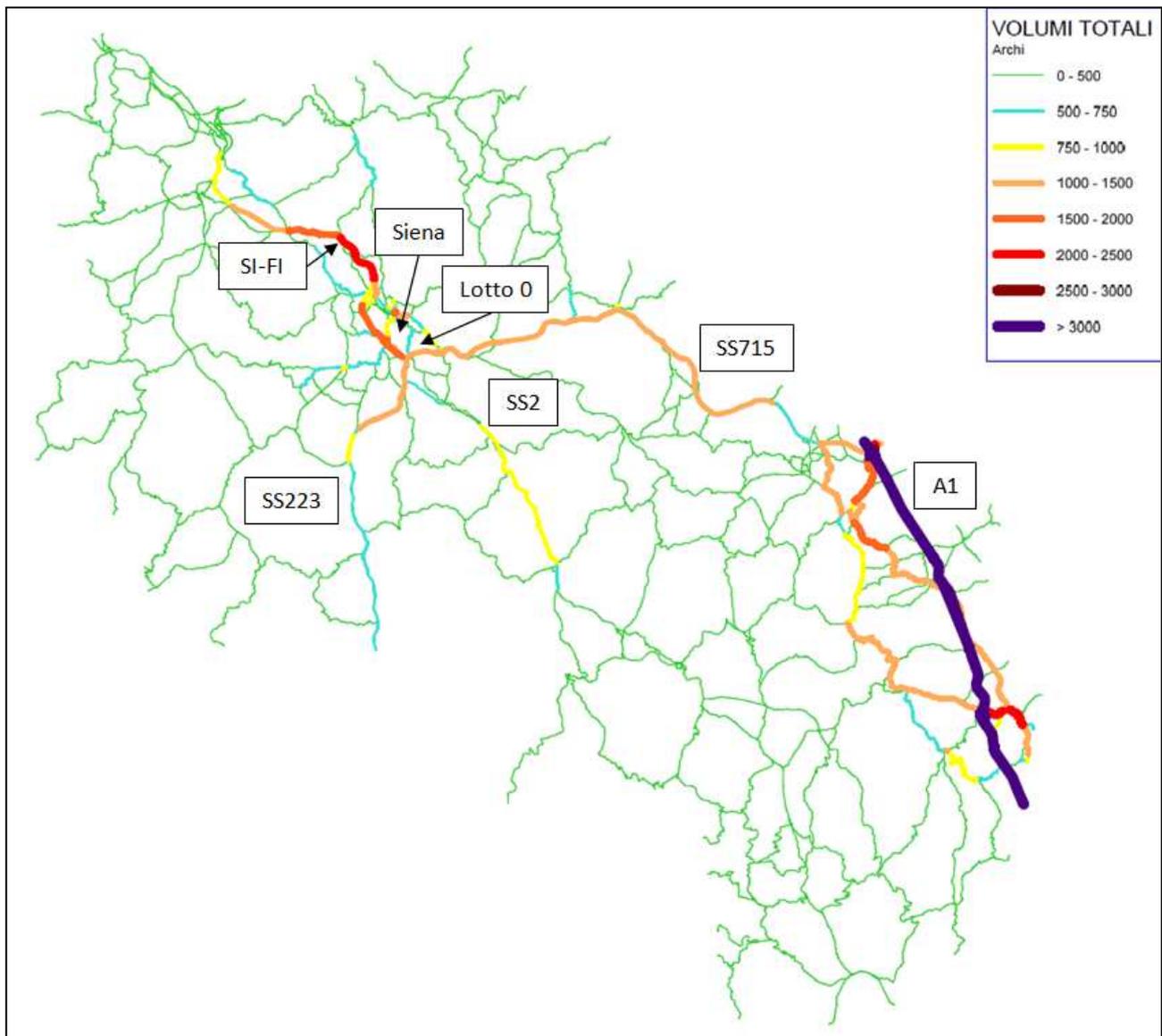


Figura 50 – SDP venerdì sera: flussogramma Provincia di Siena [veicoli totali]

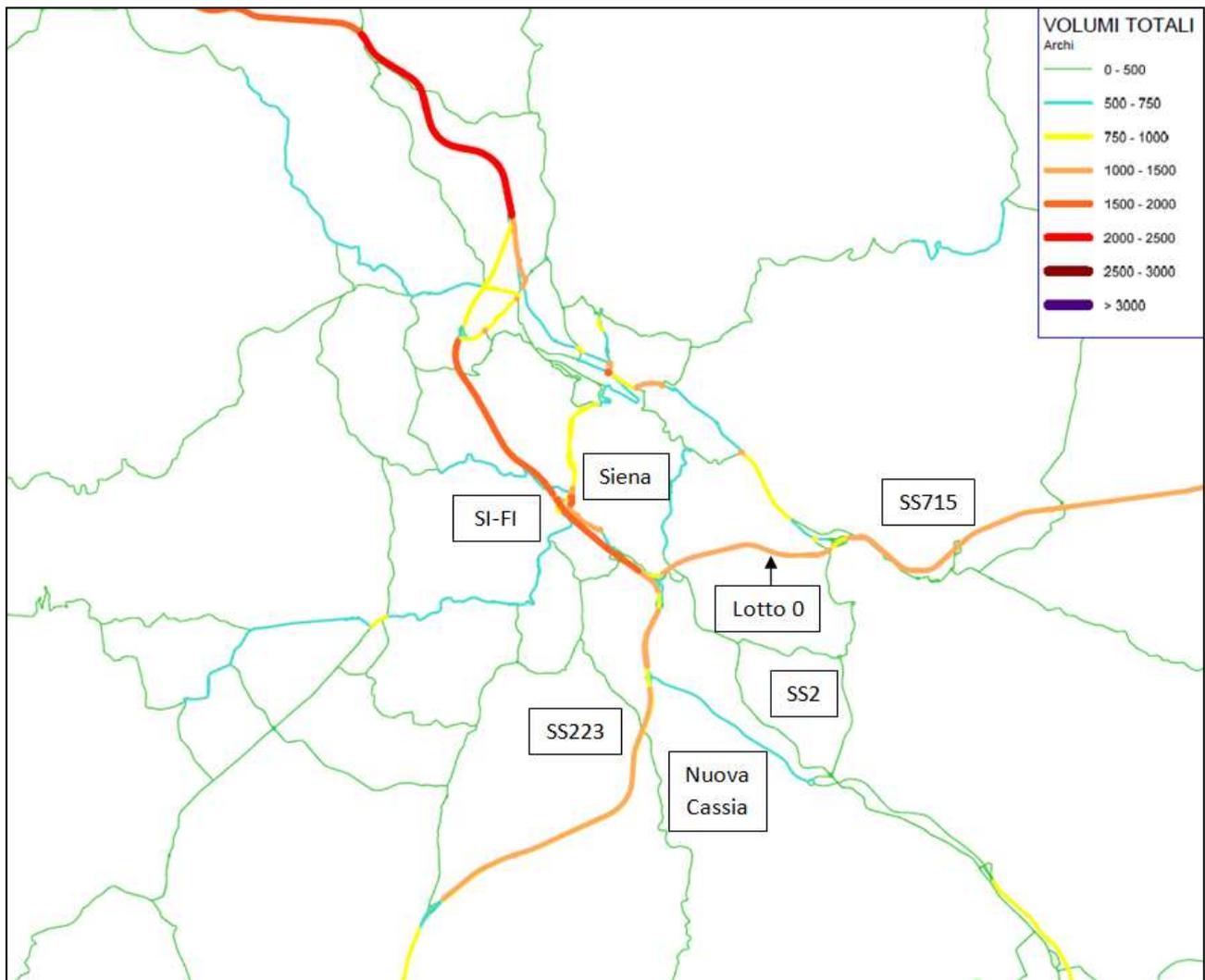


Figura 51 – SDP venerdì sera: flussogramma area di Siena [veicoli totali]



Figura 52 – SDP venerdì sera: flussogramma Lotto 0 [veicoli totali]

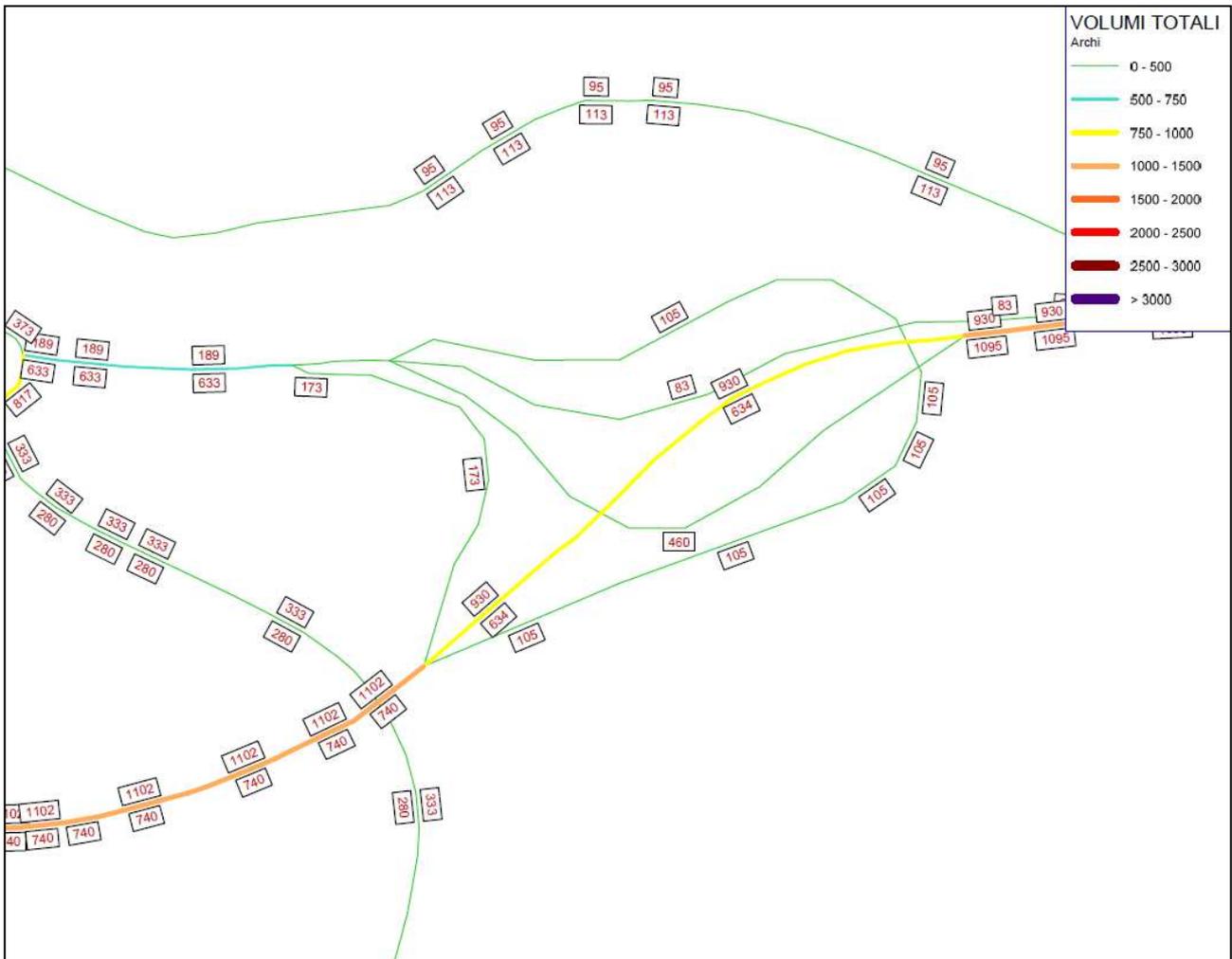


Figura 54 – SDP venerdì sera: flussogramma svincolo di Ruffolo [veicoli totali]

SDP VENERDI' SERA: VALORI FLUSSI ORA DI PUNTA									
Numero	Tratta	Descrizione	Direzione	L	P	Tot	% P	Tot eq.	
1	Lotto 0	A monte dello svincolo di	Nord	966	131	1097	12%	1293	
			Sud	985	120	1105	11%	1285	
2		Tra i due svincoli	Est	653	86	739	12%	868	
			Ovest	974	128	1102	12%	1294	
3		A valle dello svincolo di Ruffolo	Est	984	110	1094	10%	1258	
			Ovest	918	94	1012	9%	1154	
4		Svincolo di Cerchiaia	Rampa FI-GR	-	690	76	766	10%	880
5			Rampa FI-AR	-	337	45	382	12%	449
6			Rampa GR-FI	-	644	95	739	13%	881
7			Rampa GR-AR	-	320	37	357	10%	413
8			Rampa AR-FI	-	665	98	763	13%	911
9			Rampa AR-GR	-	296	42	338	12%	401
10		Svincolo di Ruffolo	Rampa SI-CE	-	154	18	172	10%	199
11	Rampa SI-AR		-	425	35	460	8%	512	
12	Rampa CE-SI		-	85	20	105	19%	135	
13	Rampa AR-SI		-	77	6	83	8%	92	

Tabella 15 – SDP venerdì sera: flussi nell'ora di punta

SDP VENERDI' SERA: VALORI FLUSSI TGM									
Numero	Tratta	Descrizione	Direzione	L	P	Tot	% P	Tot eq.	
1	Lotto 0	A monte dello svincolo di	Nord	12205	2392	14597	16%	18185	
			Sud	12613	2357	14970	16%	18506	
2		Tra i due svincoli	Est	9603	2387	11989	20%	15569	
			Ovest	11708	2910	14618	20%	18983	
3		A valle dello svincolo di Ruffolo	Est	13121	2227	15348	15%	18688	
			Ovest	13040	2297	15337	15%	18783	
4		Svincolo di Cerchiaia	Rampa FI-GR	-	9361	1449	10809	13%	12982
5			Rampa FI-AR	-	5627	1278	6905	19%	8822
6			Rampa GR-FI	-	8091	1422	9513	15%	11645
7			Rampa GR-AR	-	4084	1000	5084	20%	6585
8	Rampa AR-FI		-	8216	2241	10457	21%	13819	
9	Rampa AR-GR		-	3310	851	4161	20%	5438	
10	Svincolo di Ruffolo	Rampa SI-CE	-	1352	565	1917	29%	2764	
11		Rampa SI-AR	-	4589	482	5071	10%	5794	
12		Rampa CE-SI	-	1267	446	1712	26%	2381	
13		Rampa AR-SI	-	2385	251	2635	10%	3011	

Tabella 16 – SDP venerdì sera: flussi TGM

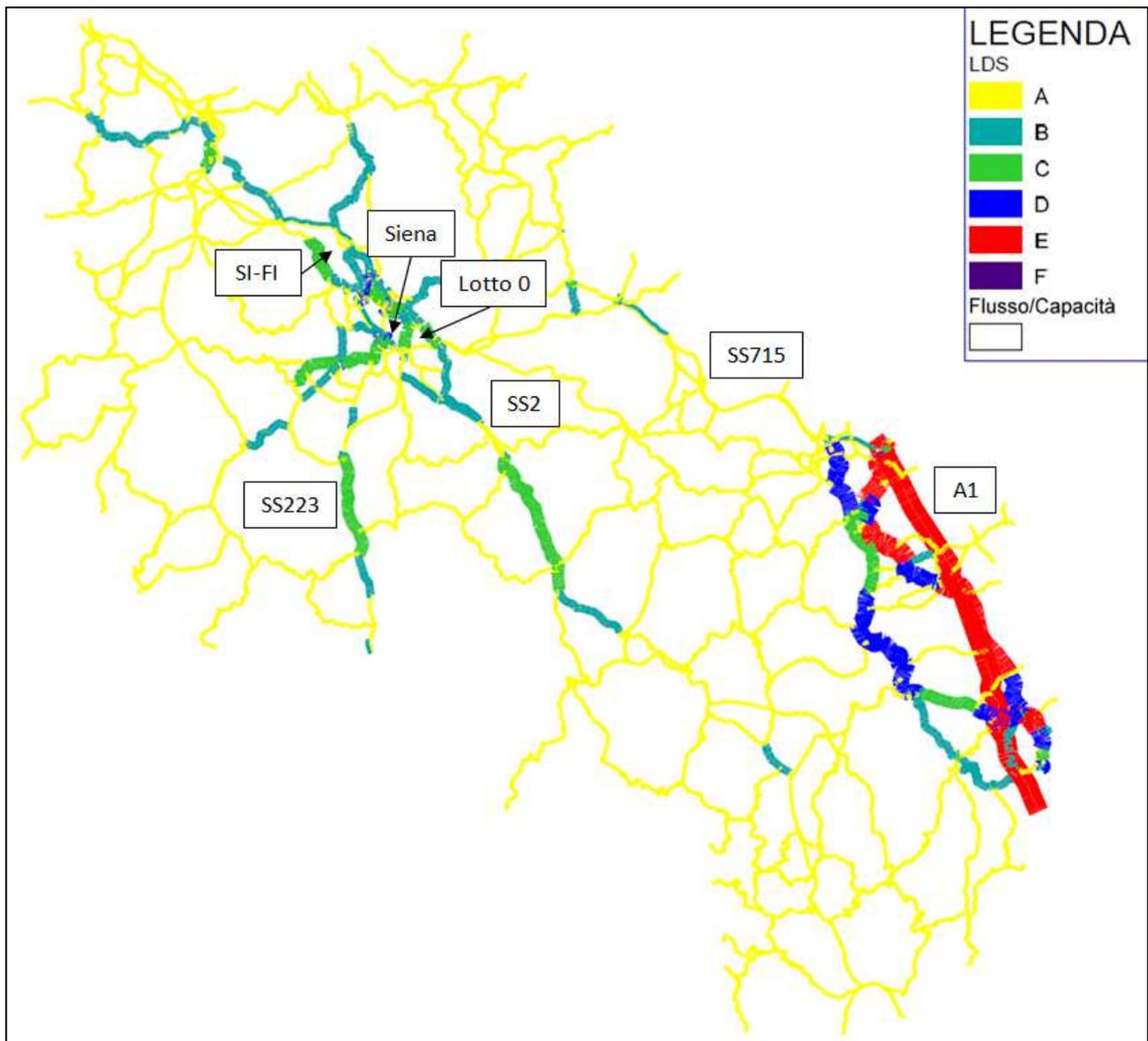


Figura 55 – SDP venerdì sera: livelli di servizio Provincia di Siena

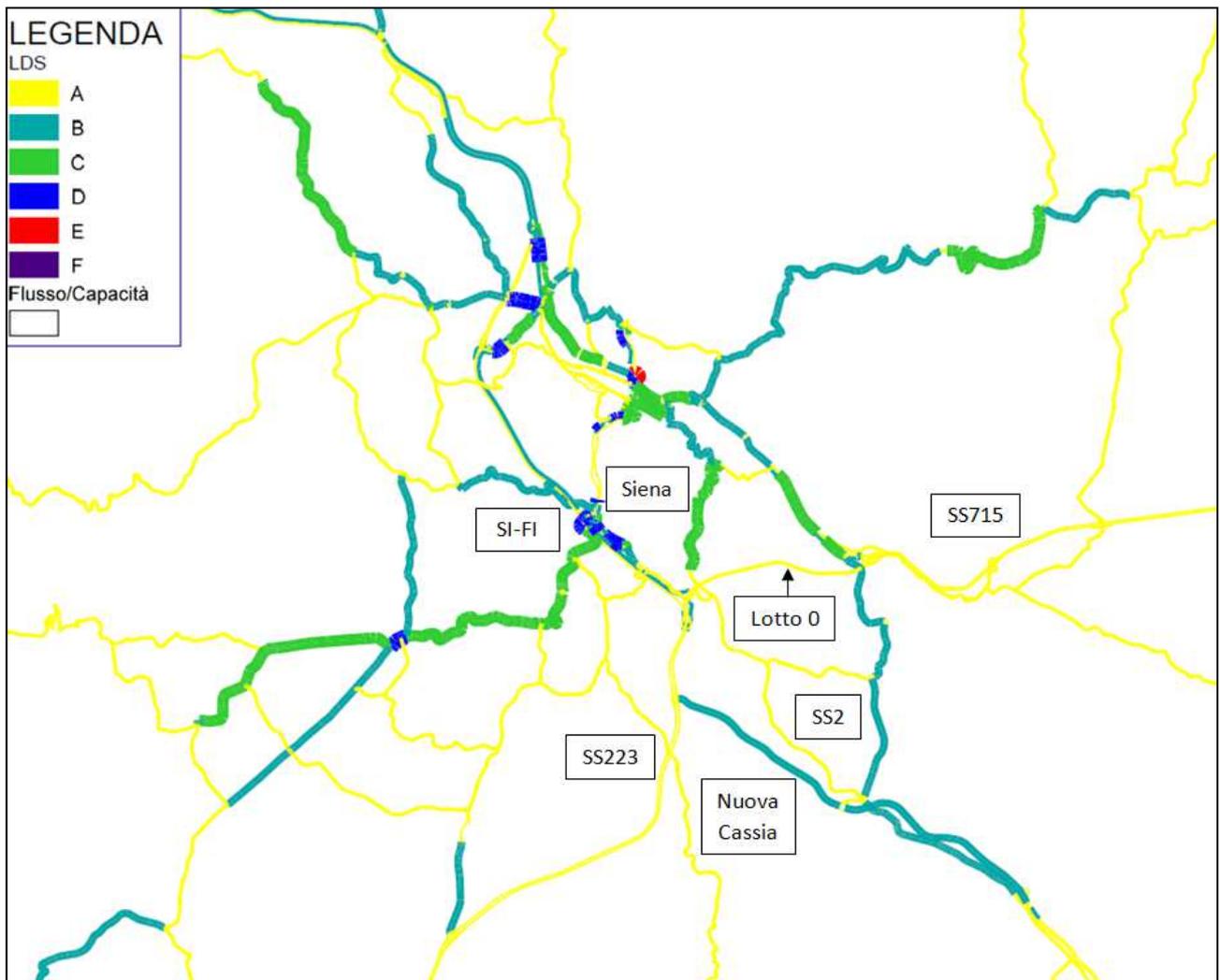


Figura 56 – SDP venerdì sera: livelli di servizio area di Siena

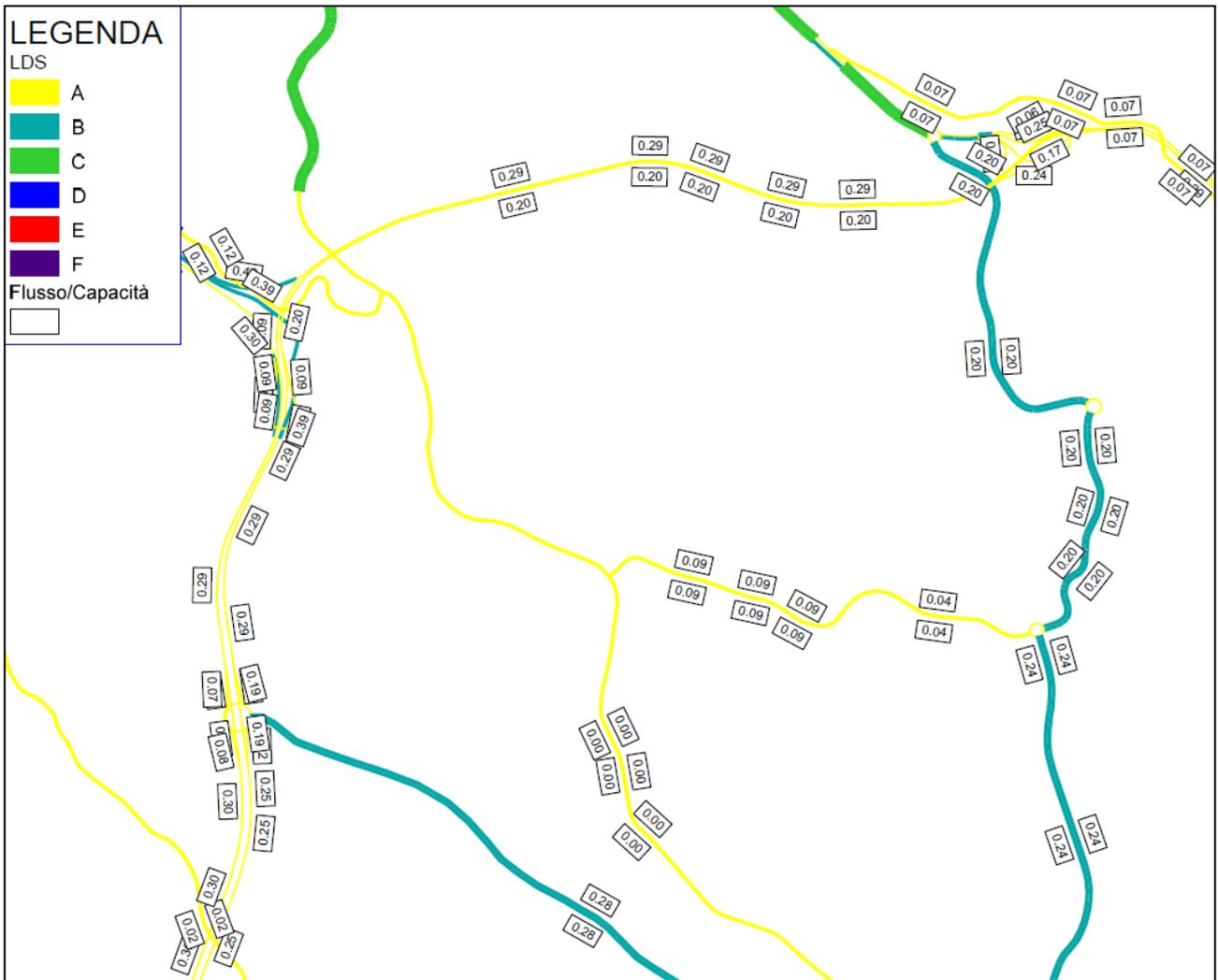


Figura 57 – SDP venerdì sera: livelli di servizio SDP Lotto 0

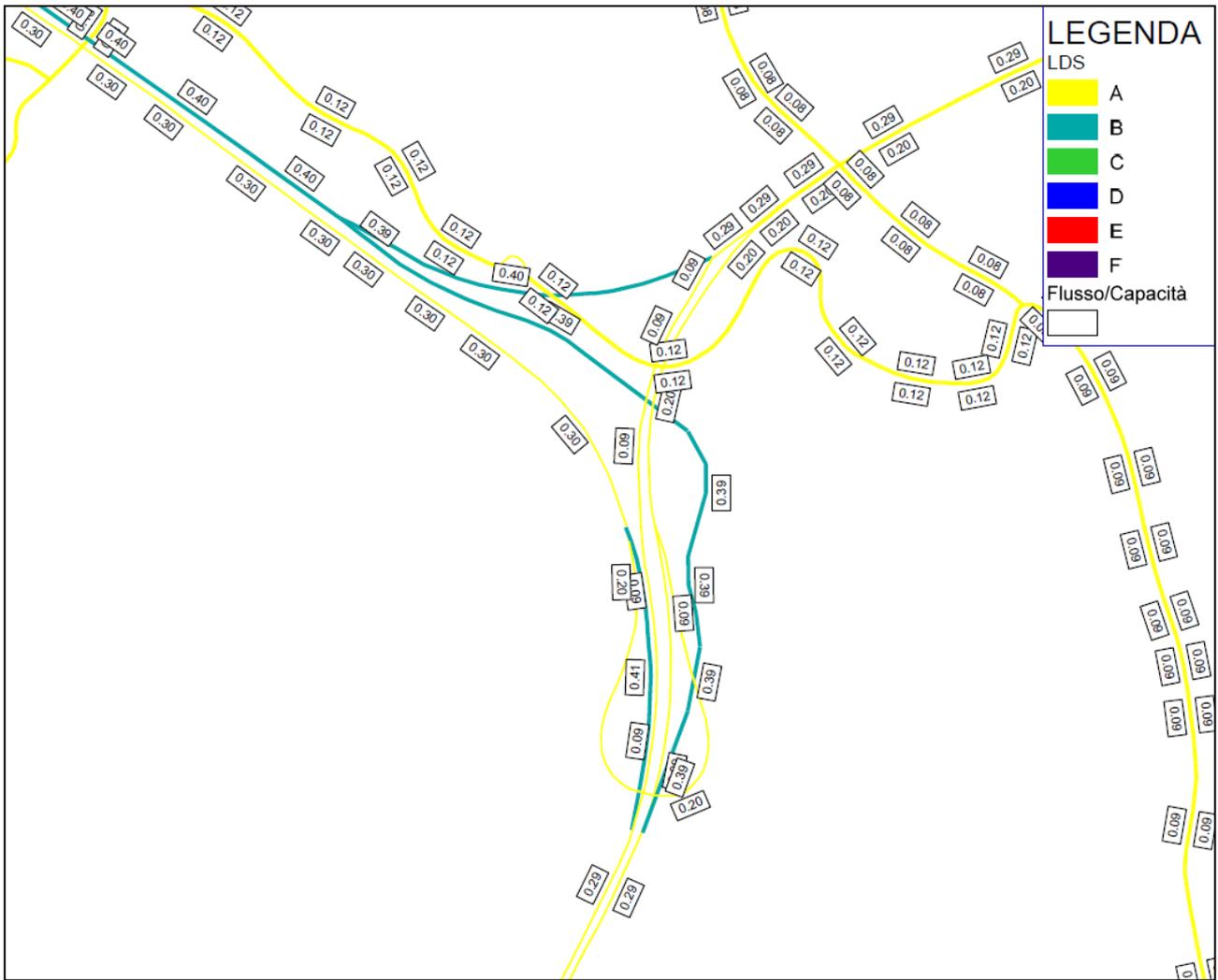


Figura 58 – SDP venerdì sera: livelli di servizio SDP svincolo di Cerchiaia

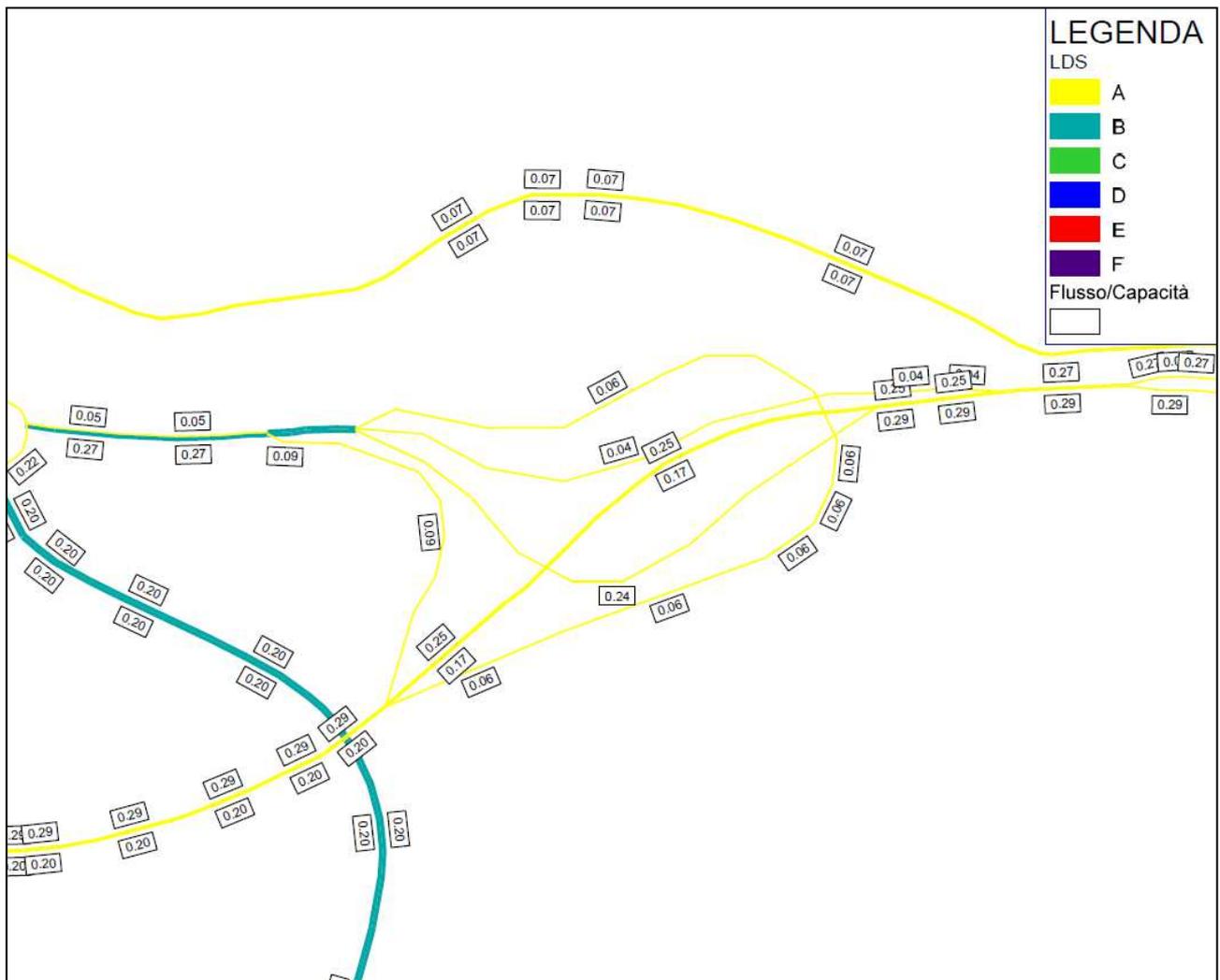


Figura 59 – SDP venerdì sera: livelli di servizio SDP svincolo di Ruffolo

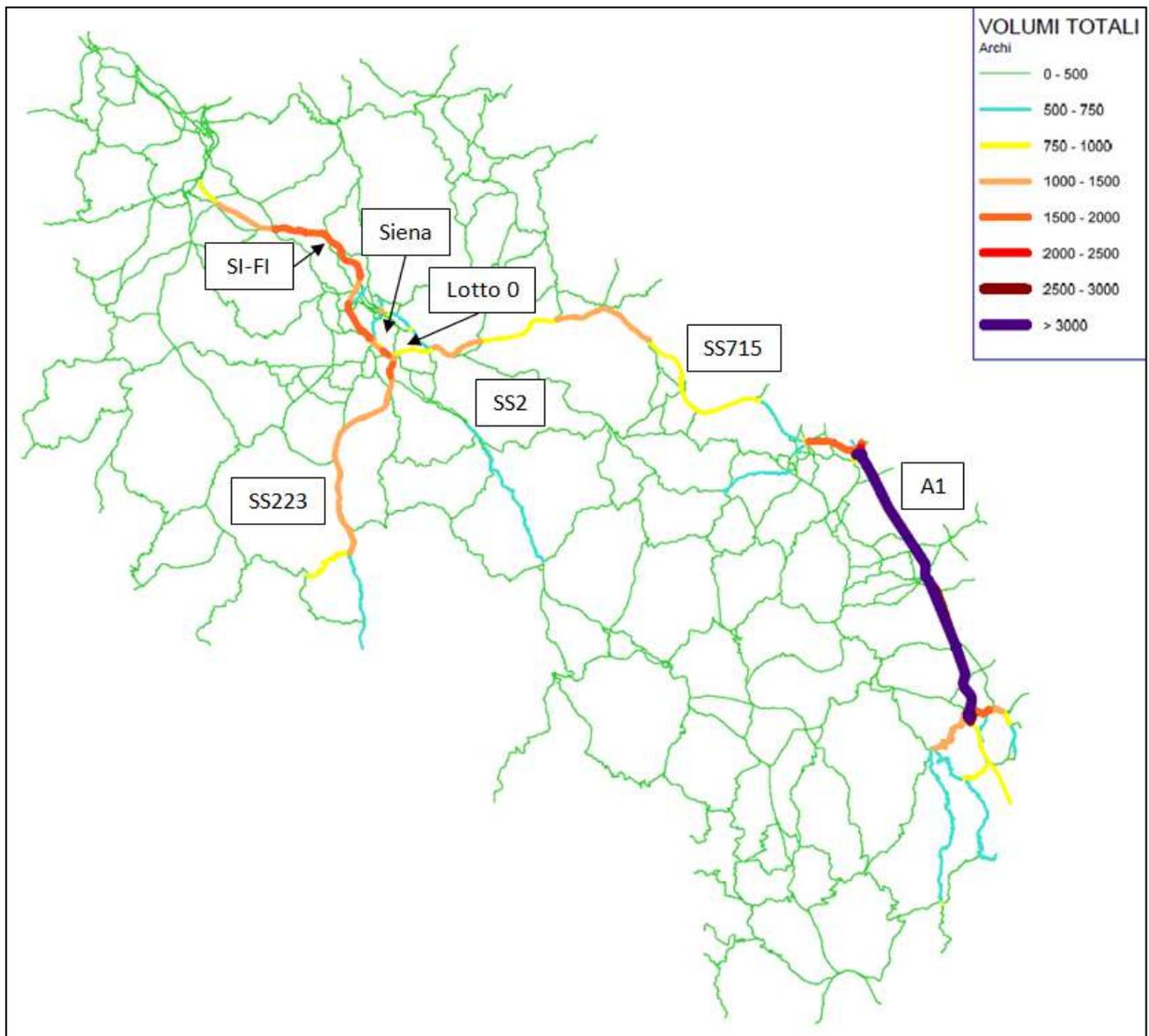


Figura 60 – SDP domenica sera: flussogramma Provincia di Siena [veicoli totali]

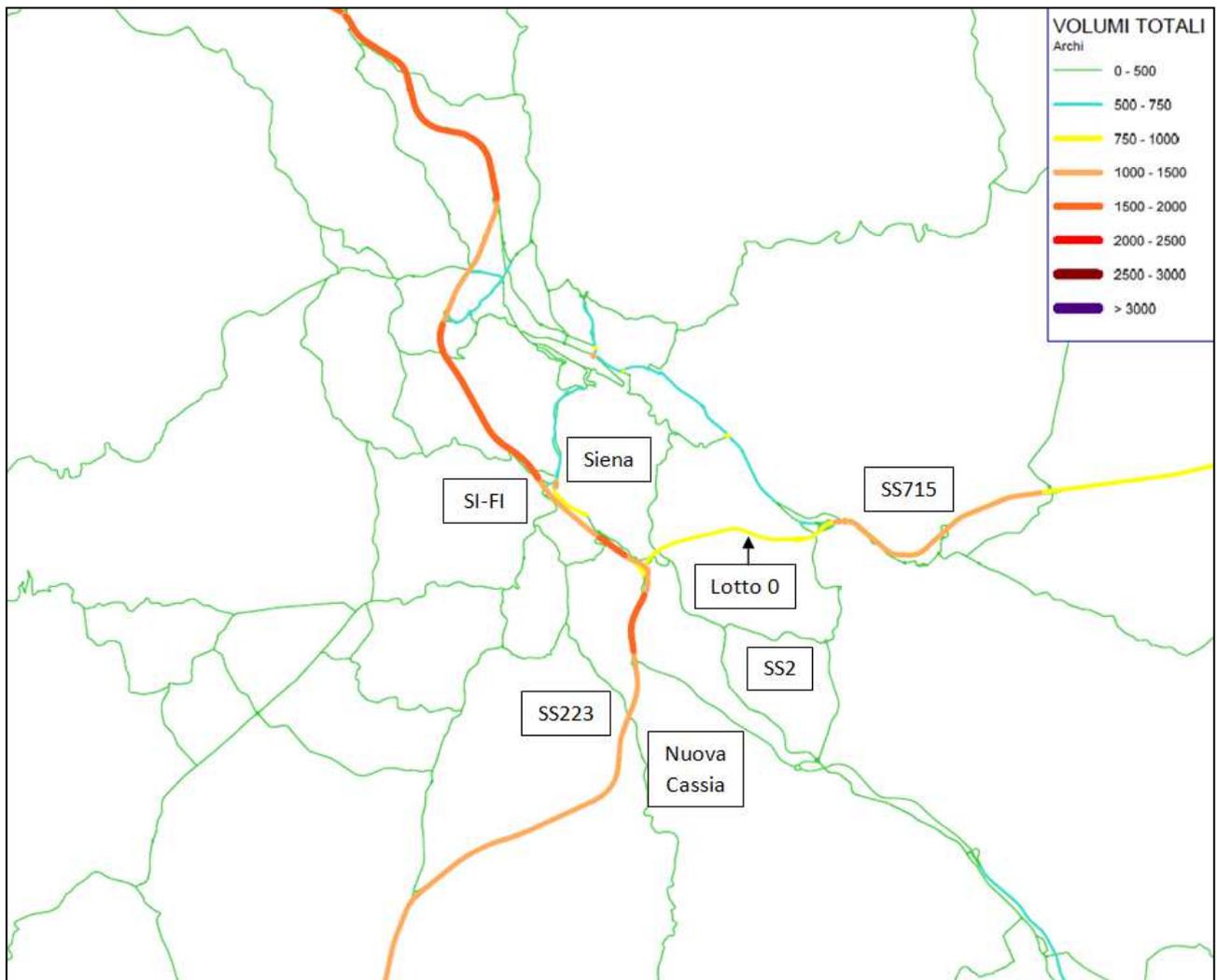


Figura 61 – SDP domenica sera: flussogramma area di Siena [veicoli totali]

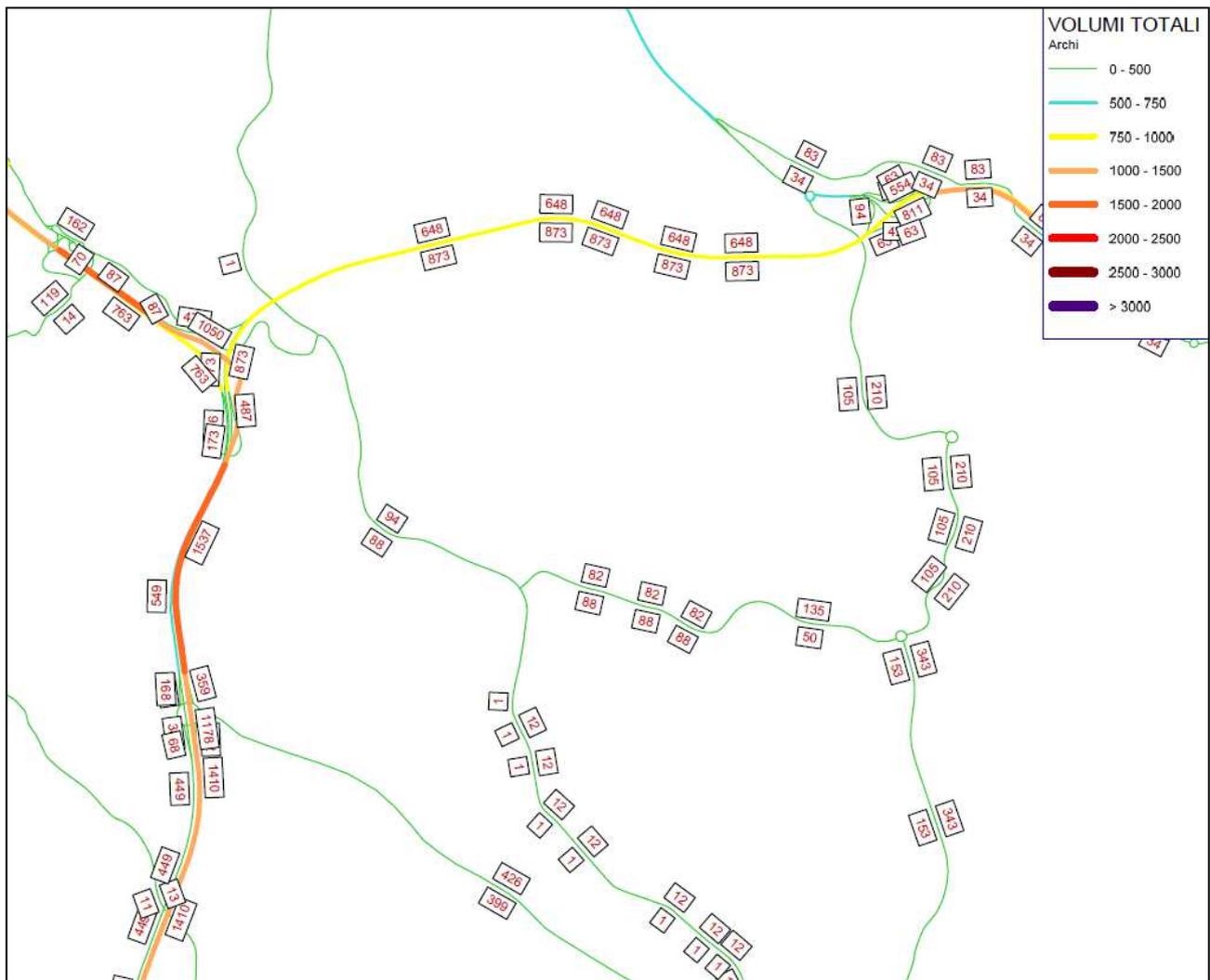


Figura 62 – SDP domenica sera: flussogramma Lotto 0 [veicoli totali]

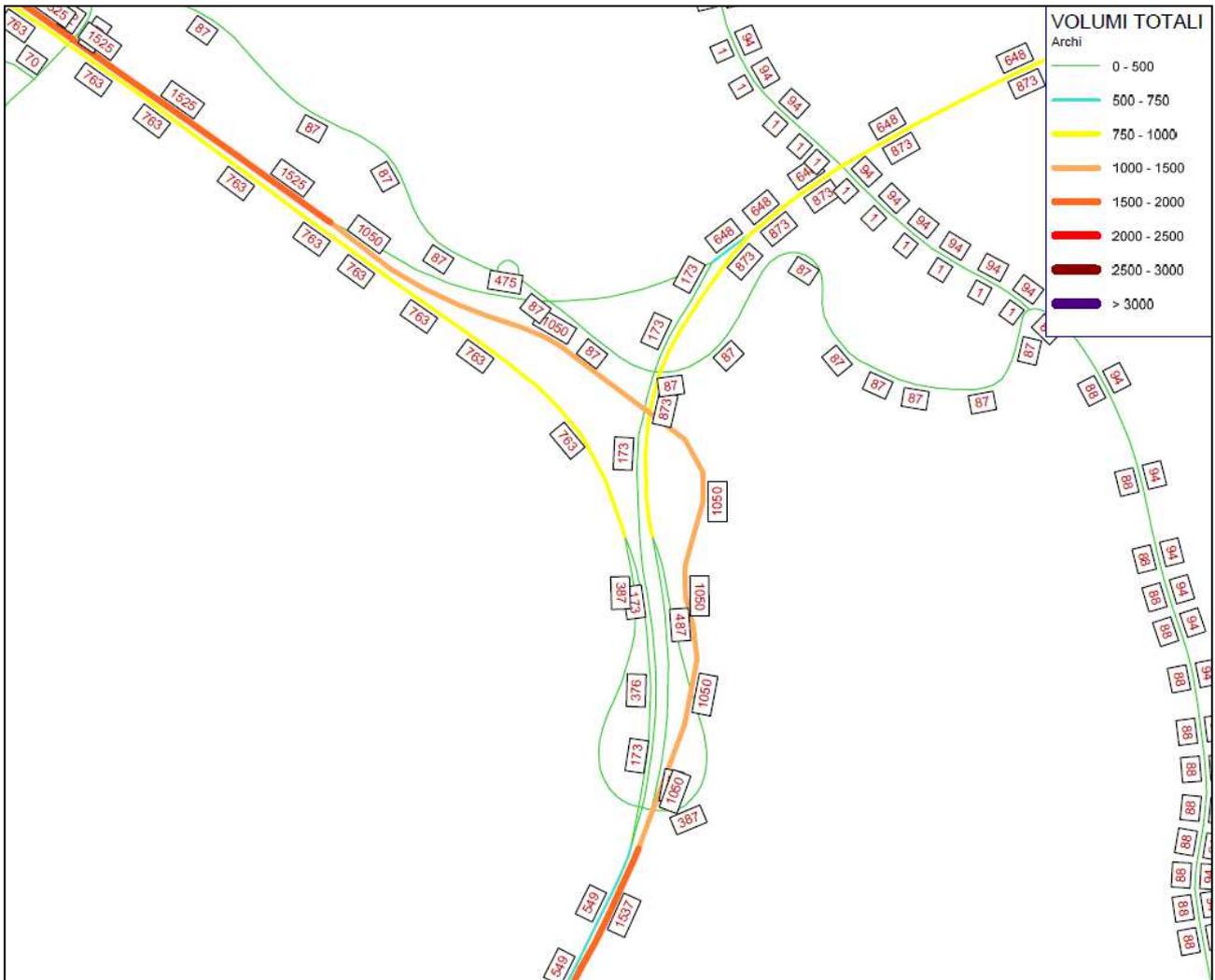


Figura 63 – SDP domenica sera: flussogramma svincolo di Cerchiaia [veicoli totali]

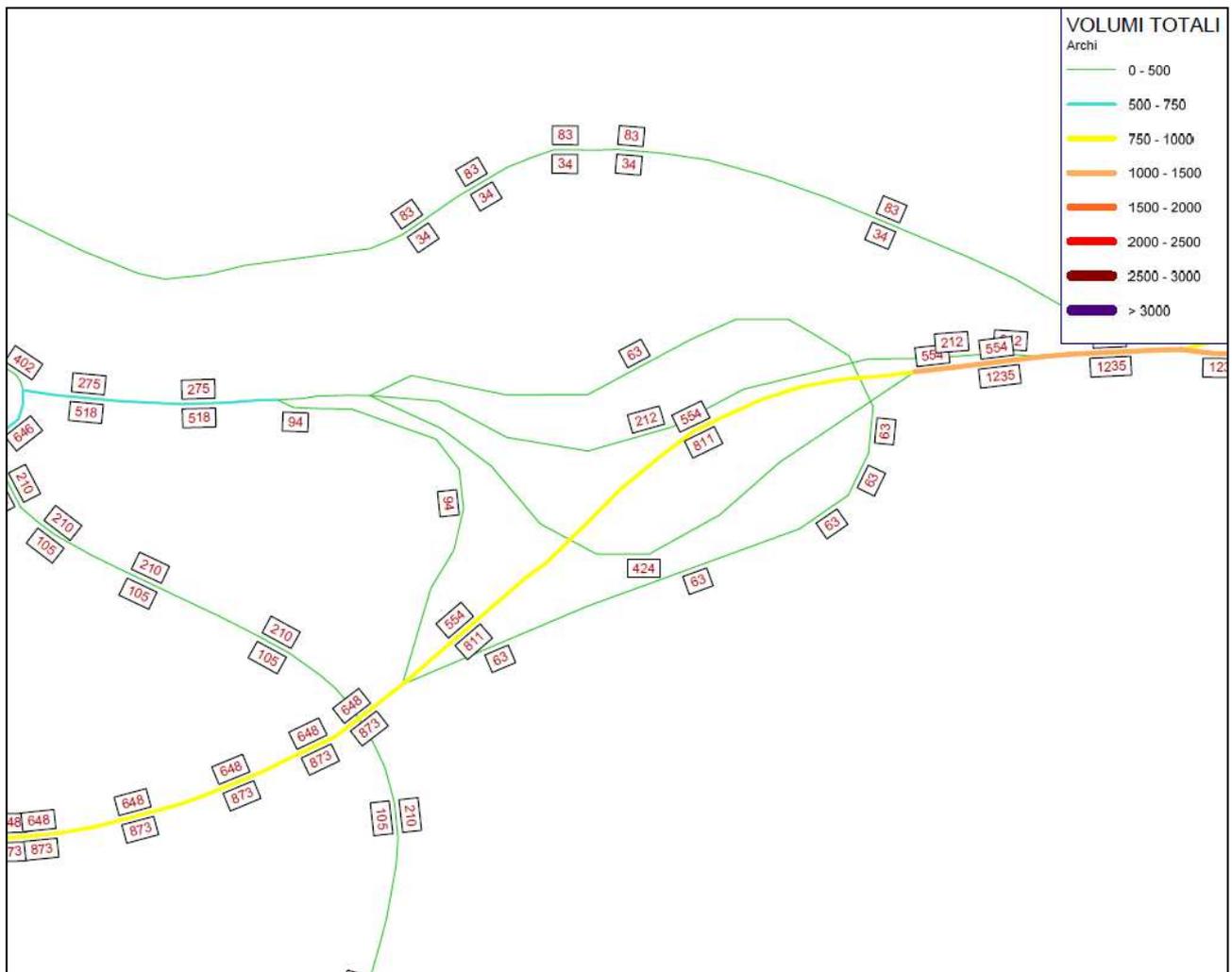


Figura 64 – SDP domenica sera: flussogramma svincolo di Ruffolo [veicoli totali]

SDP DOMENICA SERA: VALORI FLUSSI ORA DI PUNTA									
Numero	Tratta	Descrizione	Direzione	L	P	Tot	% P	Tot eq.	
1	Lotto 0	A monte dello svincolo di	Nord	1487	50	1537	3%	1612	
			Sud	531	18	549	3%	576	
2		Tra i due svincoli	Est	840	33	873	4%	923	
			Ovest	623	25	648	4%	685	
3		A valle dello svincolo di Ruffolo	Est	1193	42	1235	3%	1298	
			Ovest	740	26	766	3%	805	
4		Svincolo di Cerchiaia	Rampa FI-GR	-	362	14	376	4%	397
5			Rampa FI-AR	-	368	19	387	5%	415
6			Rampa GR-FI	-	1005	45	1050	4%	1118
7			Rampa GR-AR	-	480	7	487	1%	498
8			Rampa AR-FI	-	453	22	475	5%	508
9			Rampa AR-GR	-	168	5	173	3%	180
10		Svincolo di Ruffolo	Rampa SI-CE	-	93	1	94	1%	96
11	Rampa SI-AR		-	413	11	424	3%	441	
12	Rampa CE-SI		-	62	1	63	2%	65	
13	Rampa AR-SI		-	206	6	212	3%	220	

Tabella 17 – SDP domenica sera: flussi nell'ora di punta

SDP DOMENICA SERA: VALORI FLUSSI TGM									
Numero	Tratta	Descrizione	Direzione	L	P	Tot	% P	Tot eq.	
1	Lotto 0	A monte dello svincolo di	Nord	12917	573	13490	4%	14350	
			Sud	11684	584	12268	5%	13145	
2		Tra i due svincoli	Est	9610	674	10284	7%	11296	
			Ovest	10192	715	10907	7%	11980	
3		A valle dello svincolo di Ruffolo	Est	13534	753	14286	5%	15415	
			Ovest	12112	674	12787	5%	13798	
4		Svincolo di Cerchiaia	Rampa FI-GR	-	7624	408	8031	5%	8643
5			Rampa FI-AR	-	5497	453	5950	8%	6630
6			Rampa GR-FI	-	8697	459	9156	5%	9844
7			Rampa GR-AR	-	4216	118	4334	3%	4512
8	Rampa AR-FI		-	6160	510	6670	8%	7435	
9	Rampa AR-GR		-	4055	182	4237	4%	4510	
10	Svincolo di Ruffolo		Rampa SI-CE	-	1194	48	1242	4%	1314
11		Rampa SI-AR	-	4470	155	4625	3%	4857	
12		Rampa CE-SI	-	604	18	623	3%	650	
13		Rampa AR-SI	-	3017	104	3121	3%	3278	

Tabella 18 – SDP domenica sera: flussi TGM

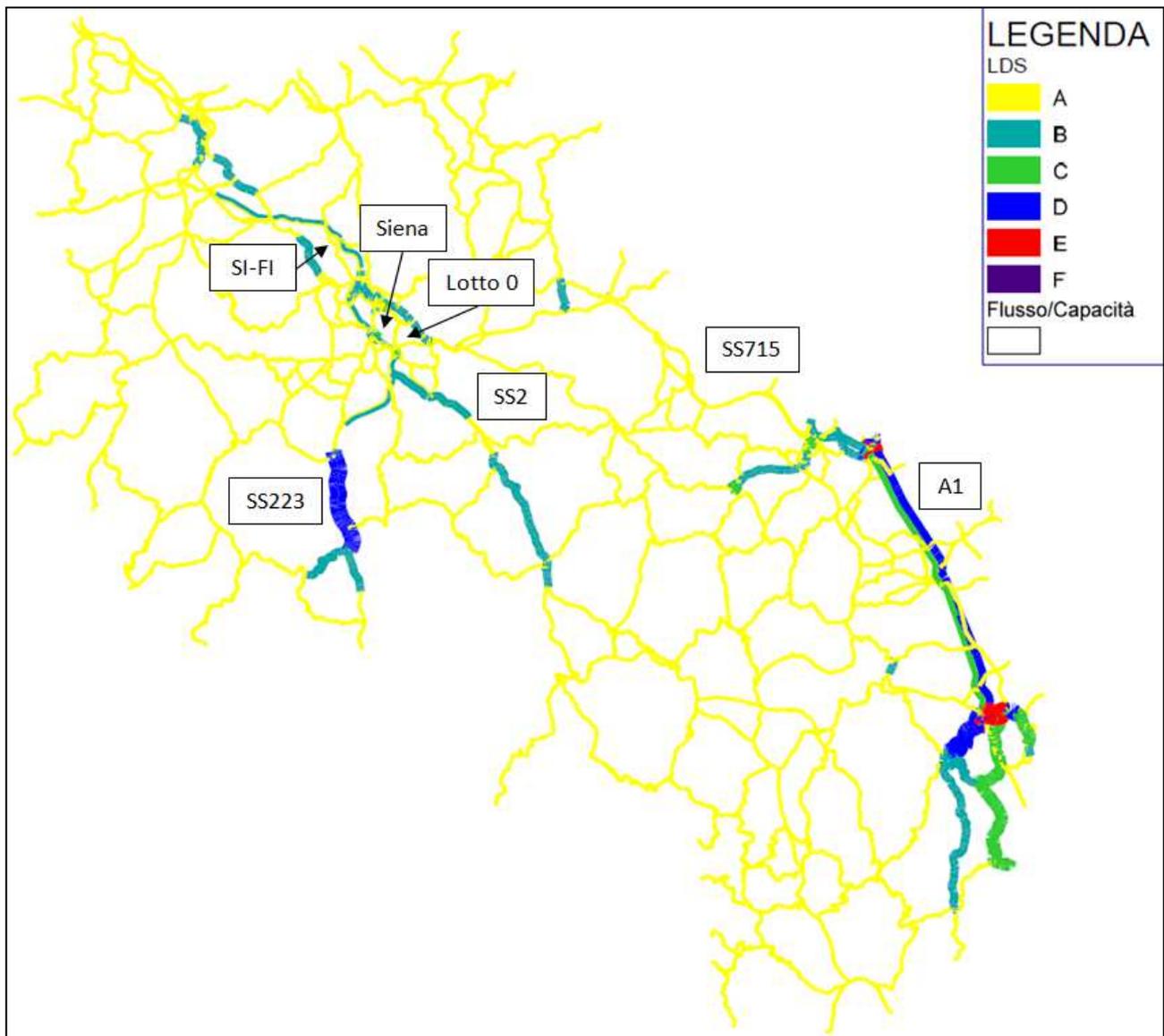


Figura 65 – SDP domenica sera: livelli di servizio Provincia di Siena

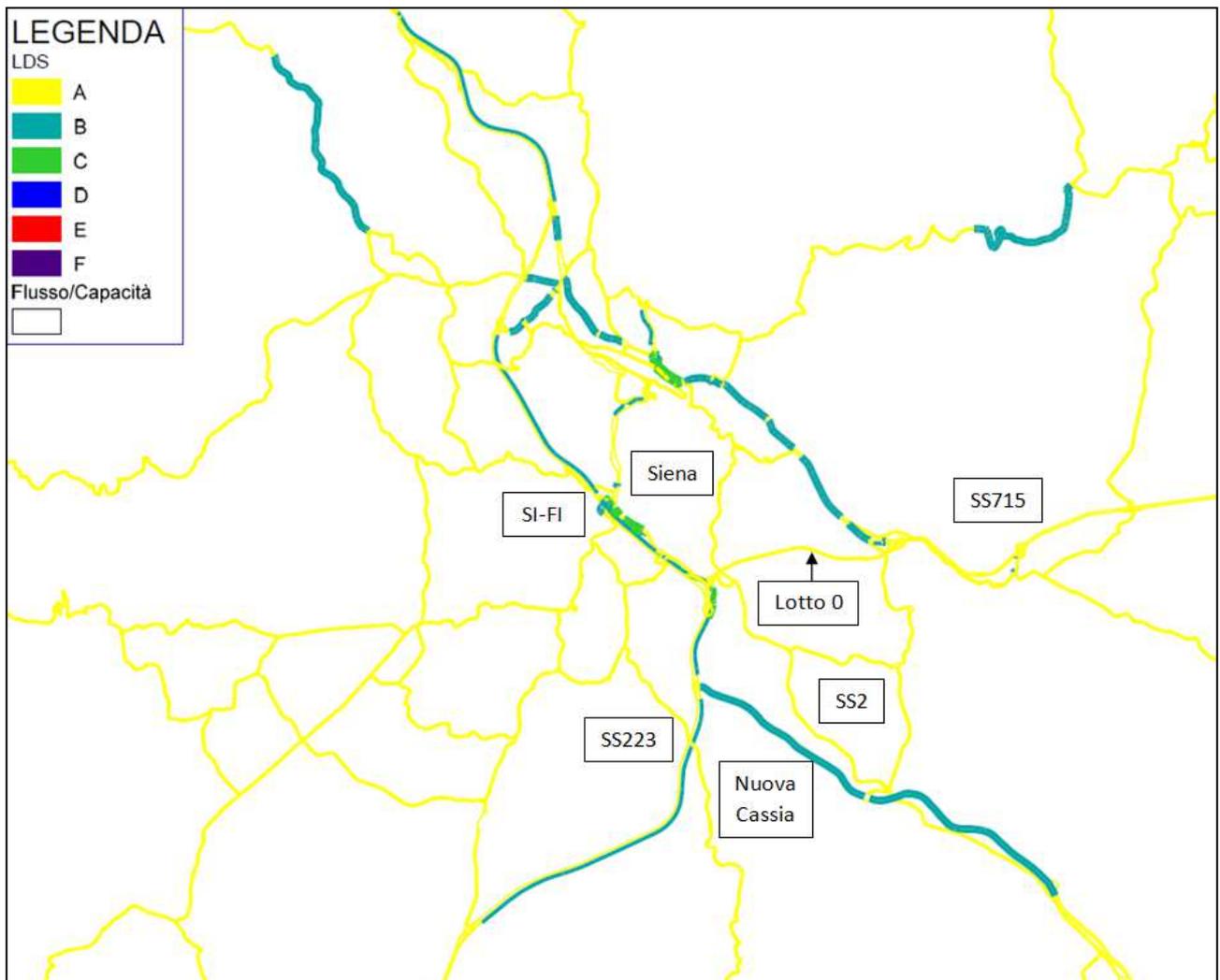


Figura 66 – SDP domenica sera: livelli di servizio area di Siena

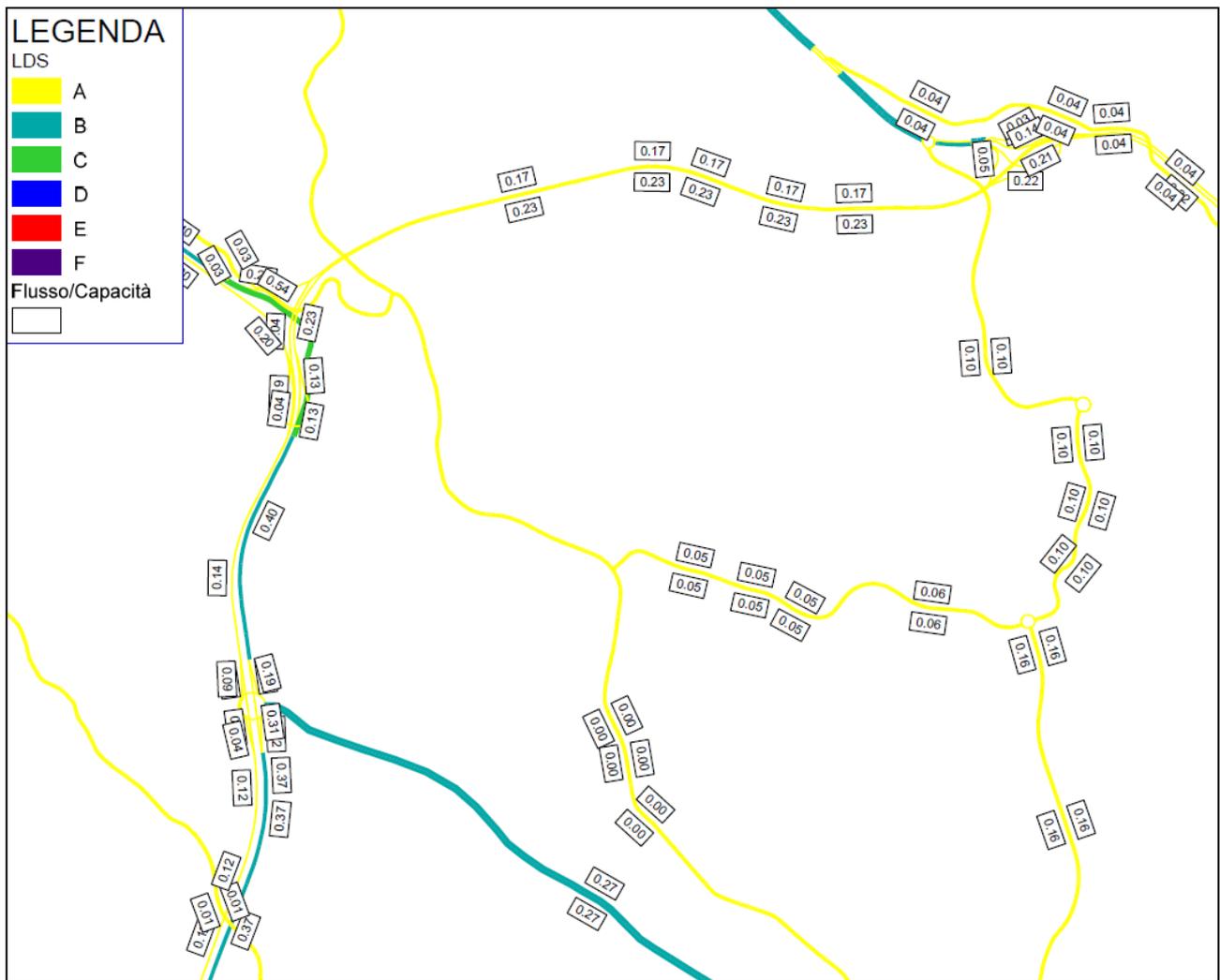


Figura 67 – SDP domenica sera: livelli di servizio Lotto 0

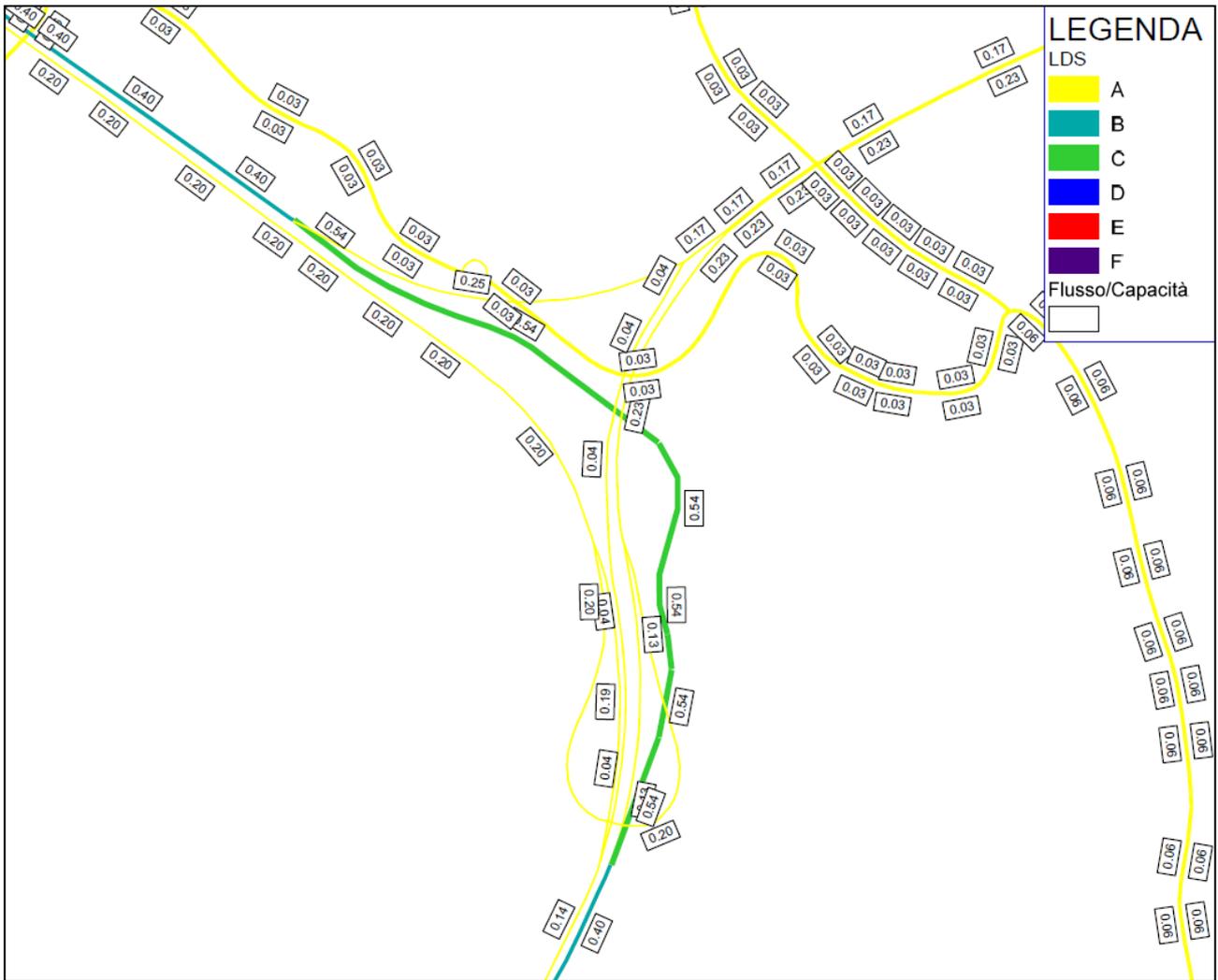


Figura 68 – SDP domenica sera: livelli di servizio svincolo di Cerchiaia

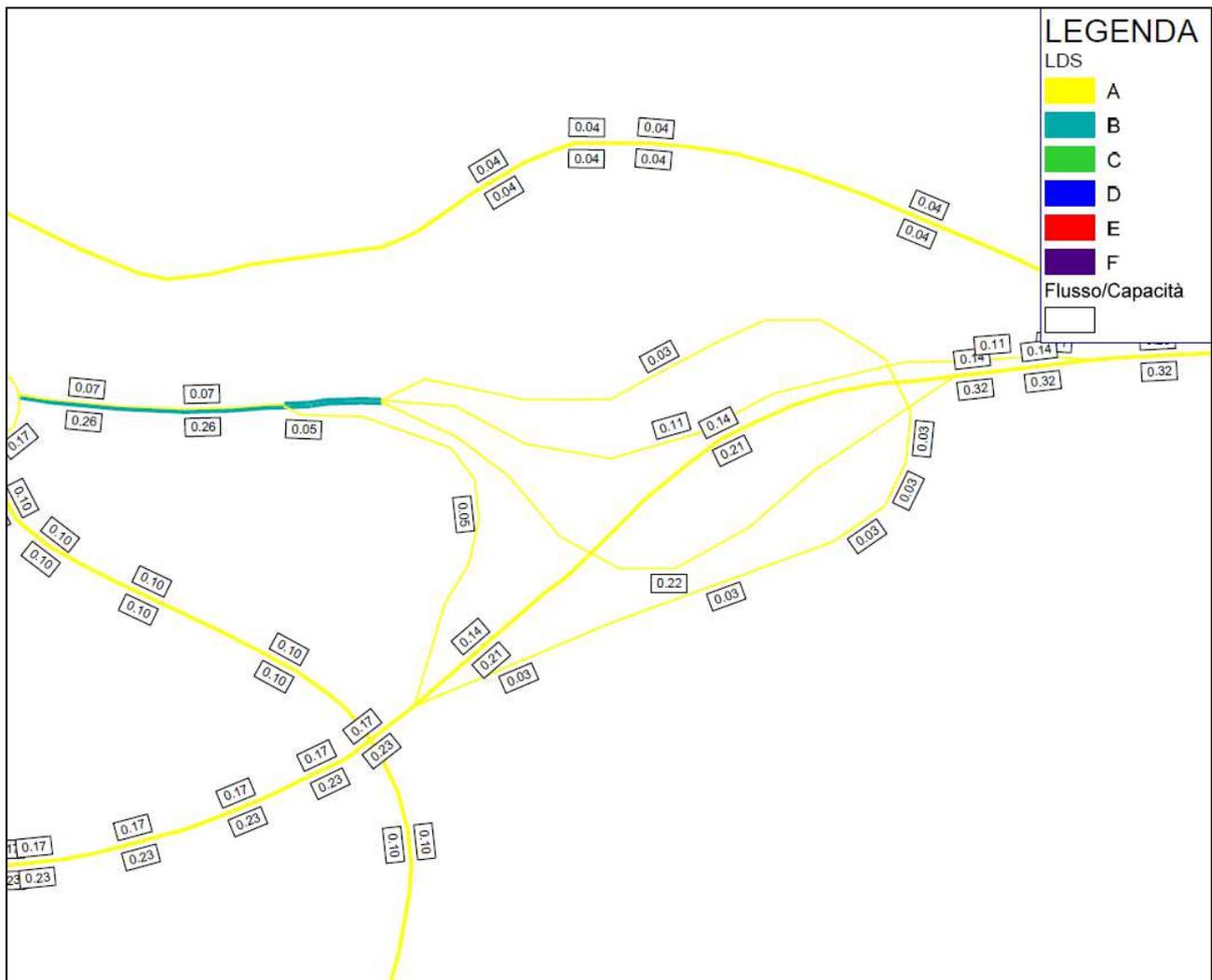


Figura 69 - SDP domenica sera: livelli di servizio svincolo di Ruffolo

Dai precedenti flussogrammi flusso/capacità si evince che nell'area di studio del Lotto 0 non si registrano archi in sovra saturazione.

In particolare si assiste ad un miglioramento del rapporto Flusso/Capacità e quindi della qualità di circolazione negli scenari progettuali rispetto allo stato di fatto, sia per il venerdì che per la domenica, lungo il Lotto 0 e le rampe di entrambi gli svincoli con un livello di servizio pari ad A, ad eccezione di alcune rampe di Cerchiaia che presentano un livello B nel venerdì e la rampa GR-FI che ha un livello C nella domenica.

Per comprendere al meglio le dinamiche di traffico che si instaurano a seguito dell'inserimento simultaneo nella rete stradale in esame dell'intervento di progetto e dell'intervento programmatico, sono stati redatti i cosiddetti "flussogrammi differenza" in cui ad ogni arco stradale viene associata la relativa differenza dell'entità di traffico che si rileva tra un ipotetico scenario A e uno scenario B: tali differenze sono rappresentate da barre rosse nel caso in cui il flusso in A risulta essere maggiore del flusso in B (l'arco quindi viene caricato) o da barre verdi in caso contrario (l'arco si scarica). Per il presente studio i grafici sono stati ottenuti dal confronto tra lo stato di progetto e lo stato di fatto (SDP – SDF).

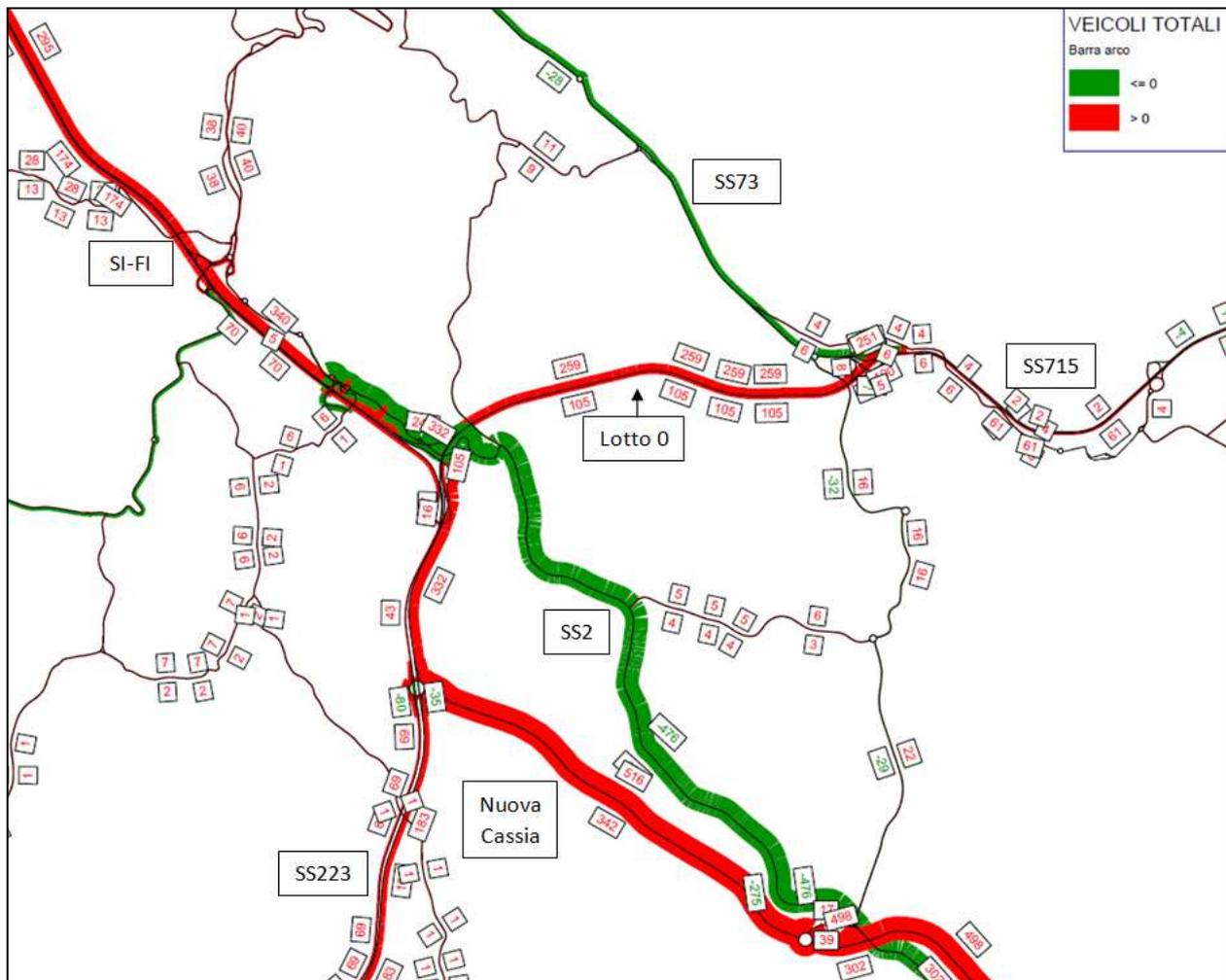


Figura 70 – Flussogramma differenza venerdì sera [veicoli totali]

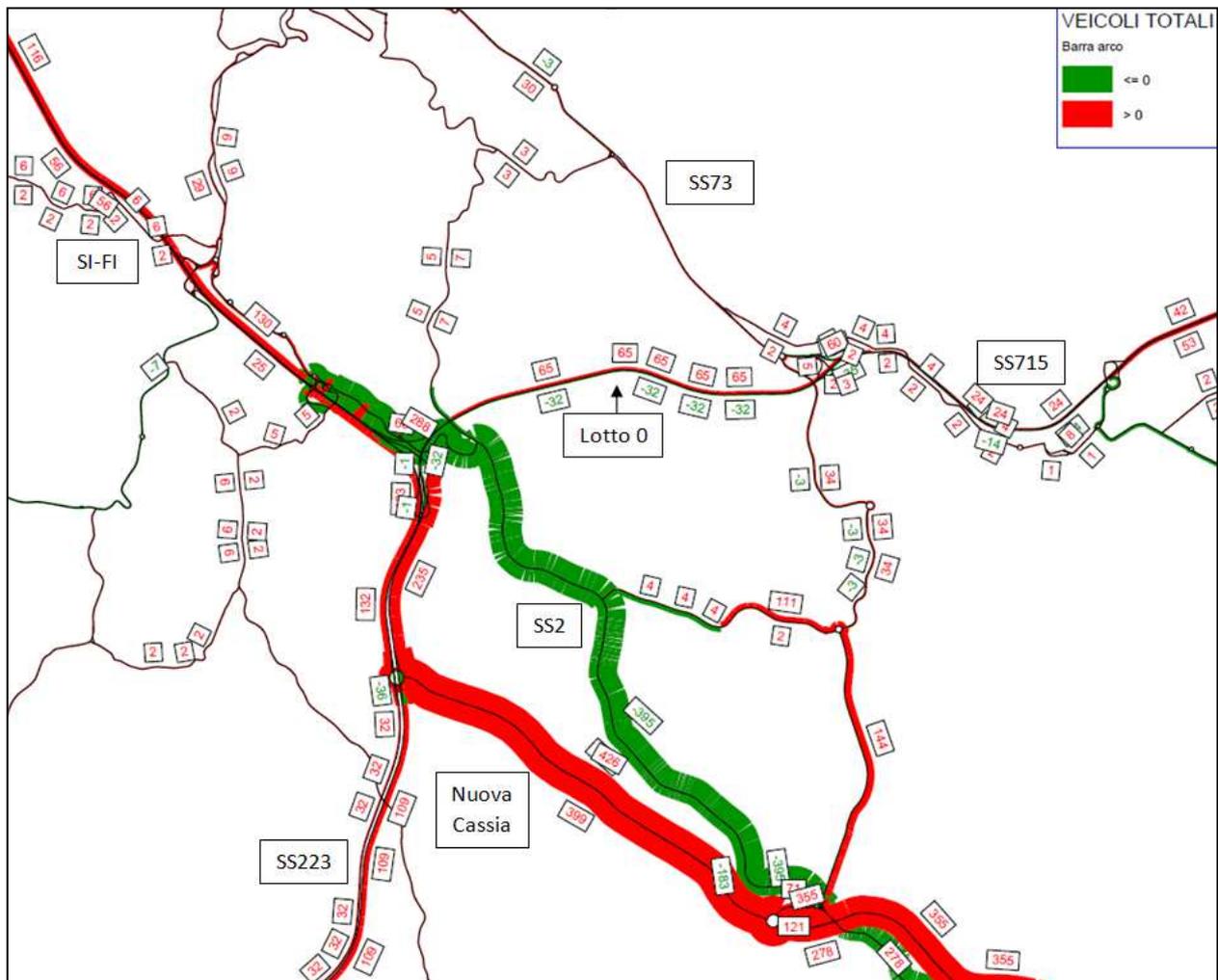


Figura 71 – Flussogramma differenza domenica sera [veicoli totali]

Dall'osservazione di tali flussogrammi è possibile notare che:

- I veicoli che nello SDF provenivano da est (Arezzo) ed erano diretti verso l'area a nord del Comune di Siena, dalla E78 prendevano lo svincolo di Ruffolo e percorrevano la SS715. Nello SDP gli stessi veicoli ora trovano più conveniente in termini di tempo rimanere lungo la E78 ed uscire allo svincolo di Cerchiaia percorrendo la SS674. Stesso discorso per la direzione opposta, cioè i veicoli che da Nord sono diretti verso Arezzo, nello SDP percorrono la SS674 e si immettono sulla E78 tramite lo svincolo di Cerchiaia. Questo avviene soprattutto il venerdì dove l'entità dei flussi è maggiore, mentre alla domenica il cambiamento del percorso è in misura ridotta.
- Inoltre la domenica si verifica uno scarico lieve (di una trentina di veicoli) della E78 da ovest verso est: questo avviene perché i veicoli che provengono da sud, a causa della presenza della Nuova Cassia, trovano più conveniente percorrere la viabilità che corre parallela alla E78 invece che impiegare lo svincolo di Cerchiaia.
- L'inserimento dell'intervento programmatico Nuova Cassia ha come effetto primario quello di scaricare la SS2 in entrambe le direzioni, sia il venerdì che la domenica, e di costituire il percorso più conveniente per i veicoli che da sud si dirigono verso nord andando a caricare il nuovo innesto con la E78 presso Monsindoli e quindi la nuova rampa dello svincolo di Cerchiaia.
- Il Lotto 0, essendo un'infrastruttura esistente e quindi utilizzata già a partire dallo stato di fatto, presenta uno spostamento di flussi di traffico in misura più ridotta rispetto alla Nuova Cassia che, costituendo una nuova alternativa introdotta nello scenario progettuale, causa un significativo scarico della SS2.

5 ANALISI MICRO

Mediante il software VISSIM, sono state simulate le ore di punta serali del venerdì e della domenica nello scenario attuale (SDF) e nello scenario progettuale (SDP) della rete stradale in corrispondenza del Lotto 0 rappresentata nelle successive figure.

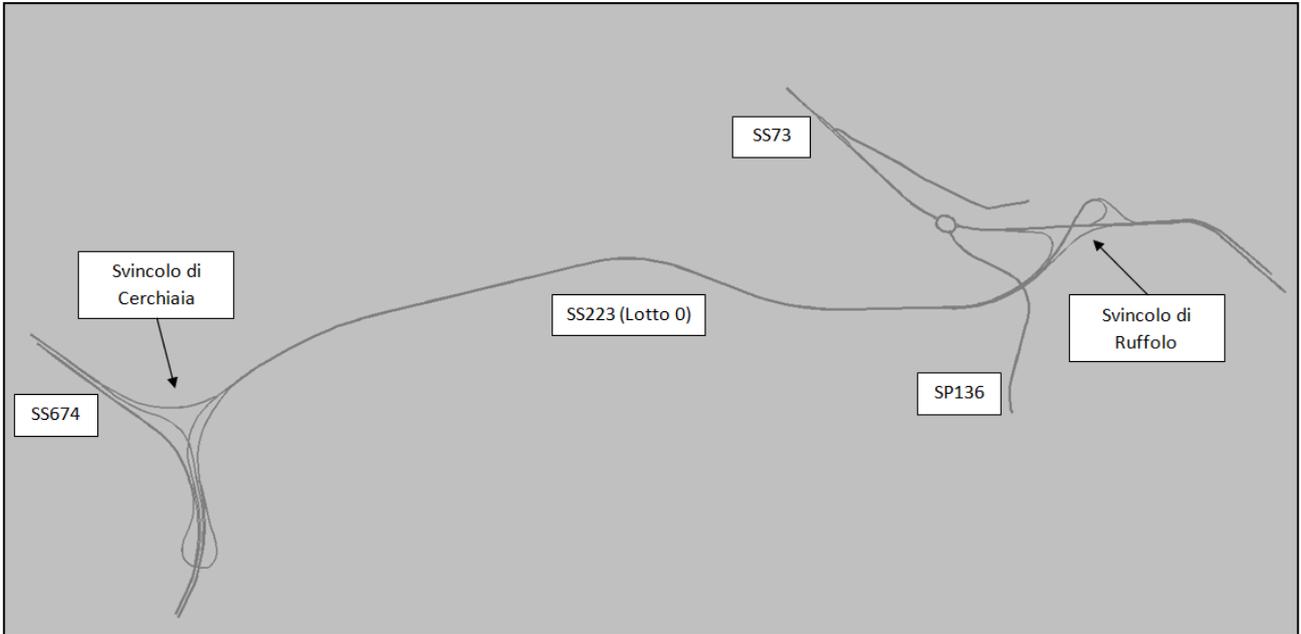


Figura 72 – Rete SDF

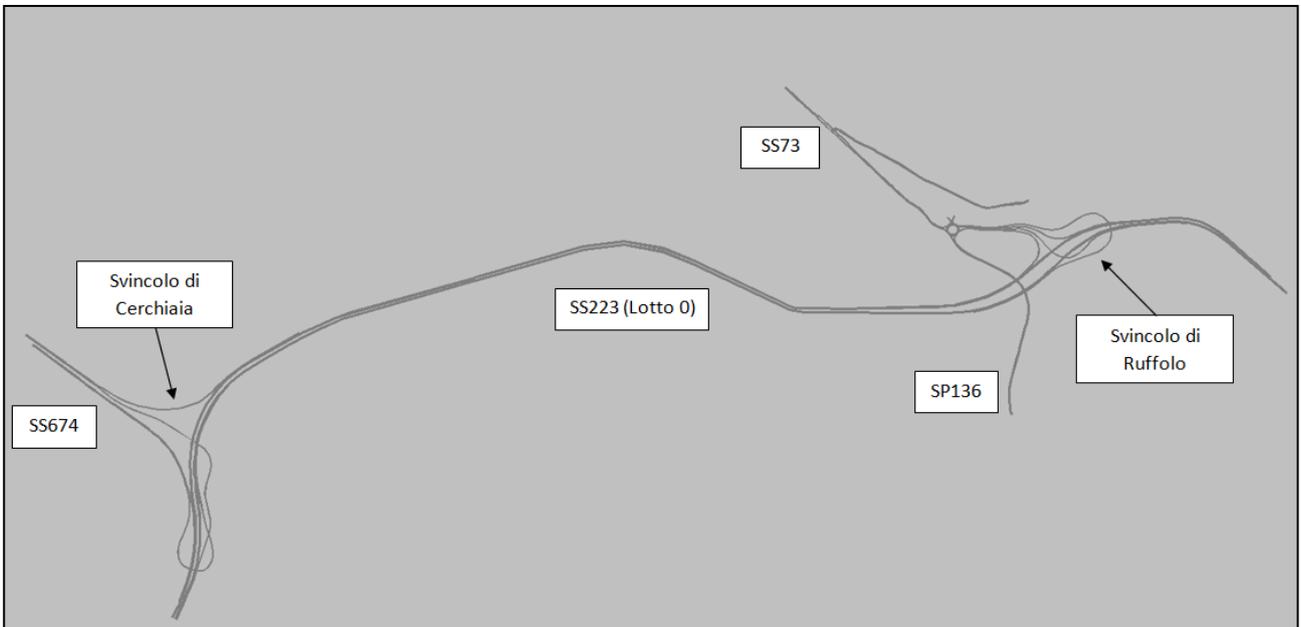


Figura 73 – Rete SDP

5.1 Le performances di sintesi

Per valutare il generale livello di performance della rete ed effettuare un confronto diretto dei diversi scenari di studio sono riportati nelle tabelle sottostanti i risultati della microsimmulazioni nell'ora di punta del venerdì e della domenica sera per lo scenario attuale (SDF) e per quello

progettuale (SDP). In particolare gli indicatori scelti sono i seguenti:

- Veicoli entrati nella rete
- Matrice totale di veicoli che transitano nella rete
- Numero dei veicoli rimasti nella rete a fine simulazione
- Distanza percorsa totale
- Velocità media dei veicoli
- Tempo totale di percorrenza
- Perditempo medio per veicolo
- Numero medio di fermate per veicolo

PERFORMANCE		VENERDÌ		DOMENICA	
PARAMETRO		SDF	SDP	SDF	SDP
Veicoli entrati nella rete	%	100.0%	100.0%	100.0%	100.1%
Matrice totale dei veicoli	veicoli	4045	4511	3401	3877
Veicoli nella rete a fine simulazione	veicoli	209	224	190	171
Distanza totale percorsa	km	11837	13742	10888	11848
Velocità media	km/h	59.1	69.3	60.6	70.8
Tempo totale nella rete	ore	200	198	180	167
Tempo medio per veicolo perso	secondi	8.3	4.4	7.1	3.5
Numero medio di fermate per veicolo	fermate	0.1	0.0	0.0	0.0
Lunghezza rete	km	22.7	22.9	22.7	22.9

Tabella 19 – Performances della rete nell'ora di punta della mattina nello SDF e nello SDP

È possibile notare come tutti i veicoli riescano sempre ad entrare nella rete. Tutti i parametri di sintesi evidenziano come, pur a fronte di un aumento del numero di veicoli (circa l'11.5% dei veicoli circolanti per il venerdì ed il 14% per la domenica), le performances della rete subiscono un aumento della velocità media di percorrenza dei veicoli di circa 10 km/h grazie alla realizzazione del Lotto 0, che prevede un aumento della velocità a flusso libero, con un conseguente dimezzamento del tempo perso medio per veicolo.

5.2 Analisi delle code

Tra gli indicatori utilizzati per l'analisi della rete nello scenario stato di fatto (SDF) e di progetto (SDP), è stato analizzato il fenomeno delle code, andando a rilevarne la lunghezza media durante le ore di punta serali del venerdì e della domenica.

Le code sono misurate, in VISSIM, dalla linea di arresto in ingresso all'intersezione analizzata fino all'ultimo veicolo che si trova in coda: un veicolo si definisce in coda quando la sua velocità scende al di sotto di 5 km/h e la distanza dal veicolo che lo precede è minore di 5 m.

La lunghezza delle code viene calcolata tramite l'inserimento negli archi stradali di opportuni elementi di rete definiti contatori di coda e viene espressa in metri.

Il comportamento dinamico descritto, ingresso ed uscita da una coda, corrisponde al fenomeno denominato stop & go.

In VISSIM la lunghezza assunta per le autovetture è compresa tra 3.5 e 5 m e il distanziamento medio dei veicoli in coda è di 1.5 / 2 m. I valori forniti sono riferiti alla fascia oraria considerata e indicano la lunghezza media della coda (espressa in metri) nell'intervallo di tempo considerato.

In particolare nella tabella sottostante vengono riportati i suddetti indicatori per i punti di accesso indagati, relativi agli attestamenti della rotatoria presente nella rete di studio e indicati nella figura seguente: si ricorda che per comodità è stata riportata la configurazione attualmente esistente della rotatoria, che risulta essere di forma ovale, mentre nello SDP è prevista una forma circolare.

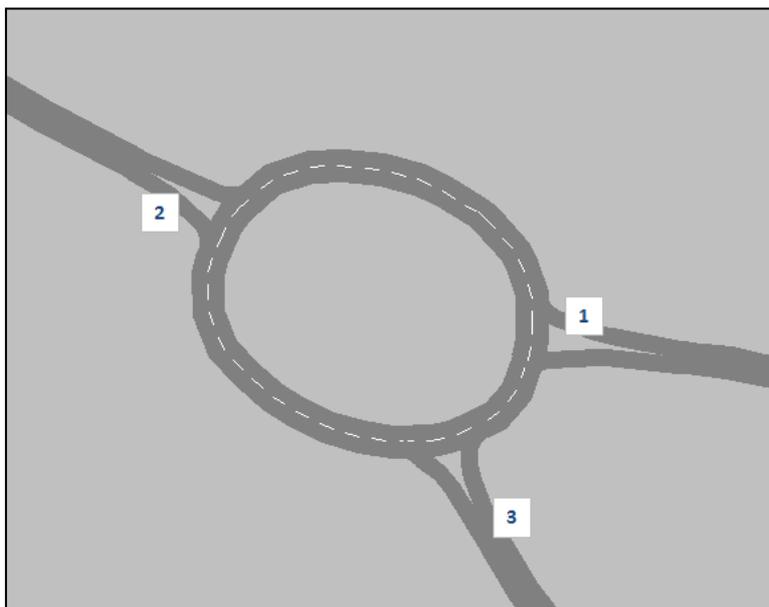


Figura 74 – INT 03: localizzazione contatori di coda

		VENERDÌ		DOMENICA	
		SDF	SDP	SDF	SDP
		MEDIA (m)	MEDIA (m)	MEDIA (m)	MEDIA (m)
ROTATORIA INT 03	da 1	2	0	0	0
	da 2	2	0	0	0
	da 3	3	1	0	1

Tabella 20 – Lunghezze medie delle code simulate [m]

Come si può notare, non si evidenziano situazioni di criticità in entrambi gli scenari di analisi riscontrando lunghezze medie di coda inferiori ai 10 m e, anzi, si rileva un miglioramento nello SDP dove tali valori risultano essere praticamente nulli.

Ciò è possibile anche perché nello scenario progettuale, per i motivi già detti, avviene uno scarico dello svincolo di Ruffolo, direttamente connesso alla rotatoria in esame, soprattutto nell'ora di punta serale del venerdì, dove i flussi veicolari sono maggiori.

5.3 Immagini della microsimulazione

A titolo di esempio vengono riportate le immagini delle microsimulazioni di traffico che, a livello immediato, danno rilevanza sulle dinamiche di traffico dell'area di studio.

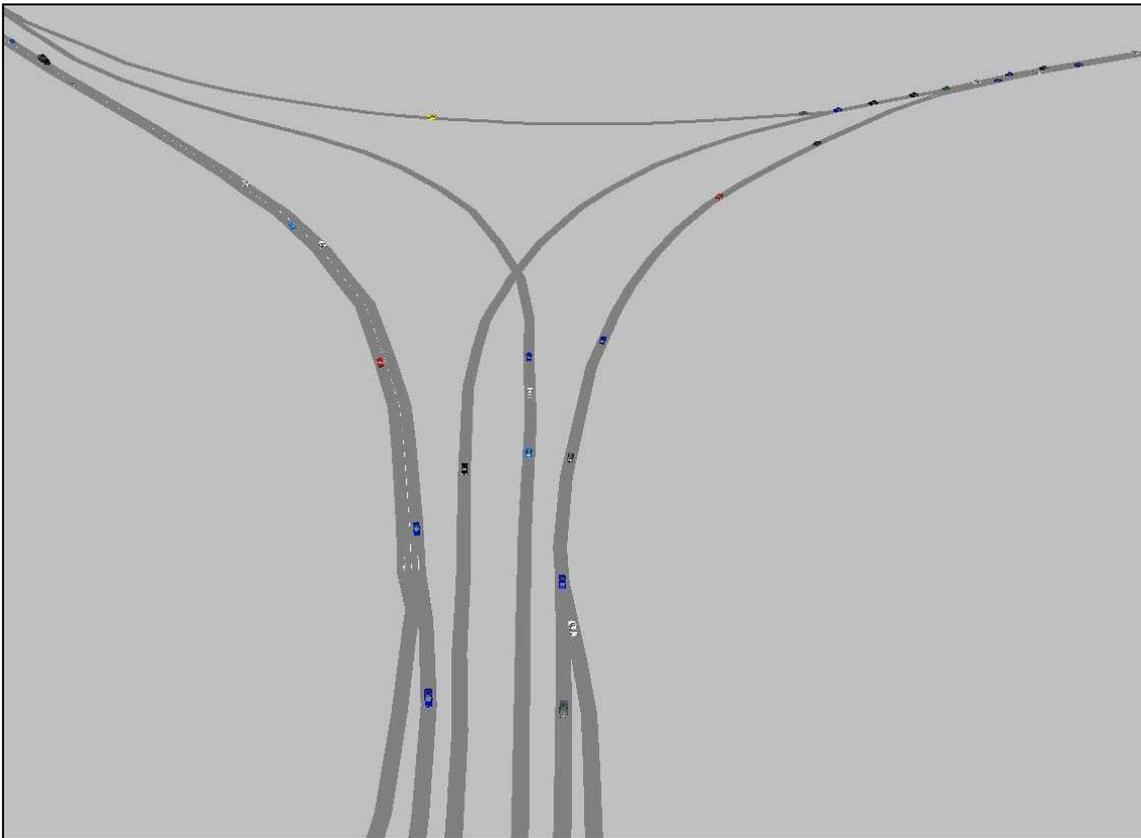


Figura 75 – SDF venerdì sera: particolare svincolo di Cerchiaia

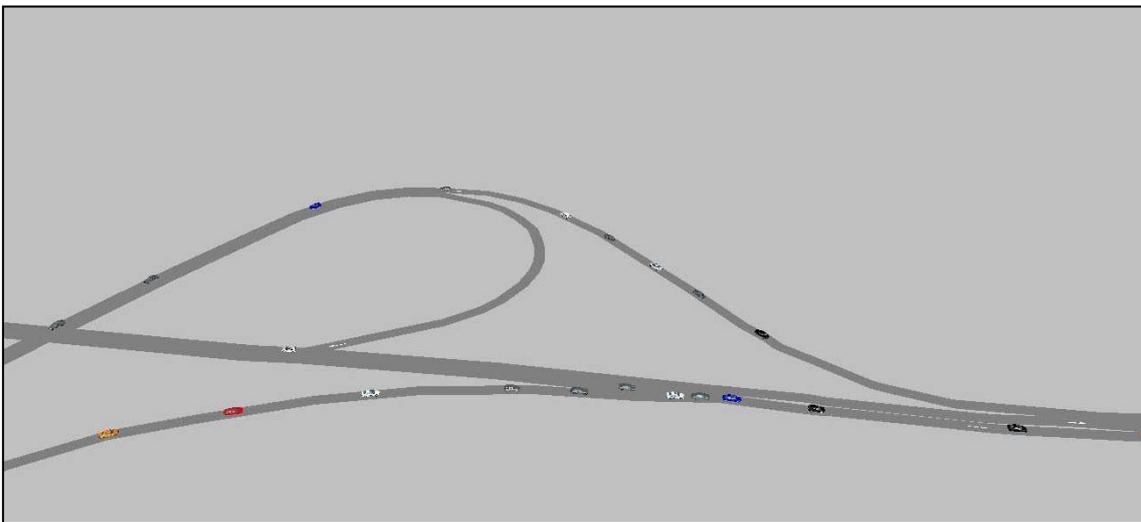


Figura 76 – SDF venerdì sera: particolare svincolo di Ruffolo

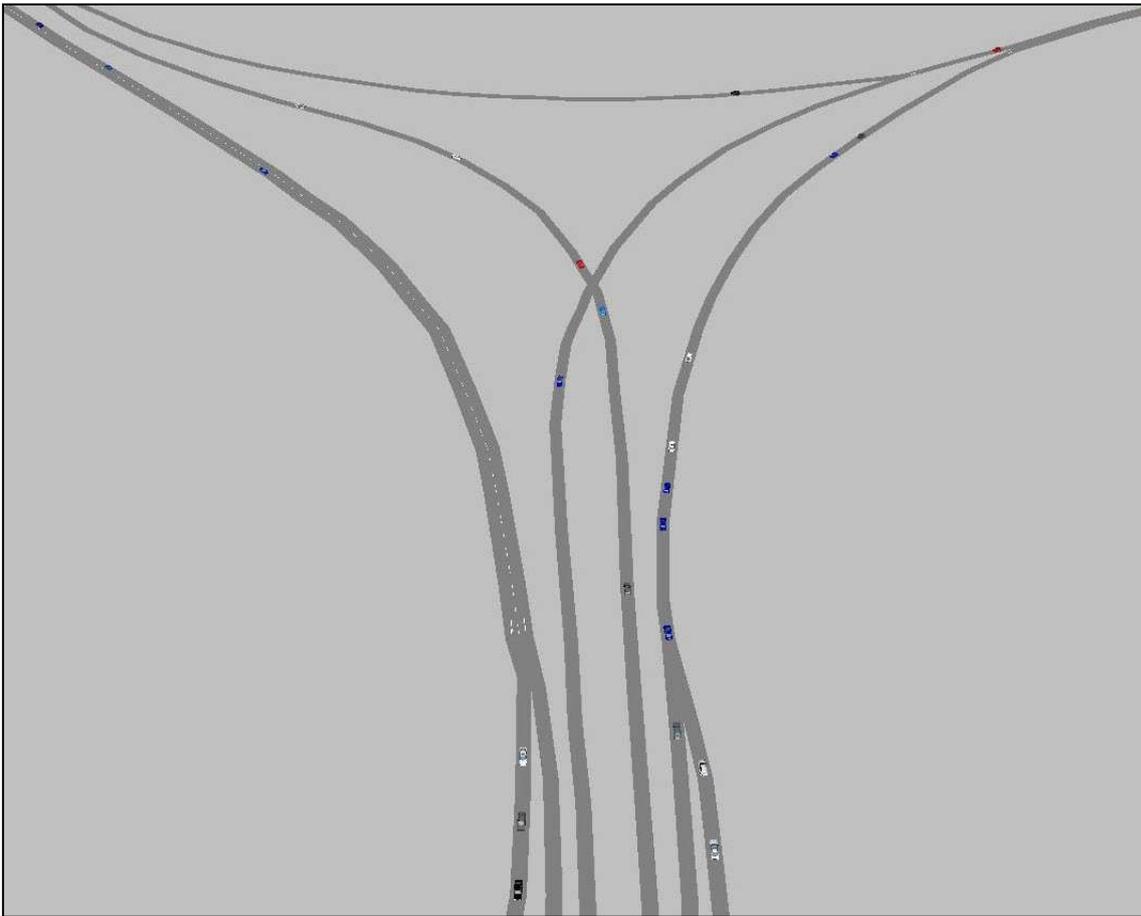


Figura 77 – SDF domenica sera: particolare svincolo di Cerchiaia



Figura 78 – SDF domenica sera: particolare svincolo di Ruffolo

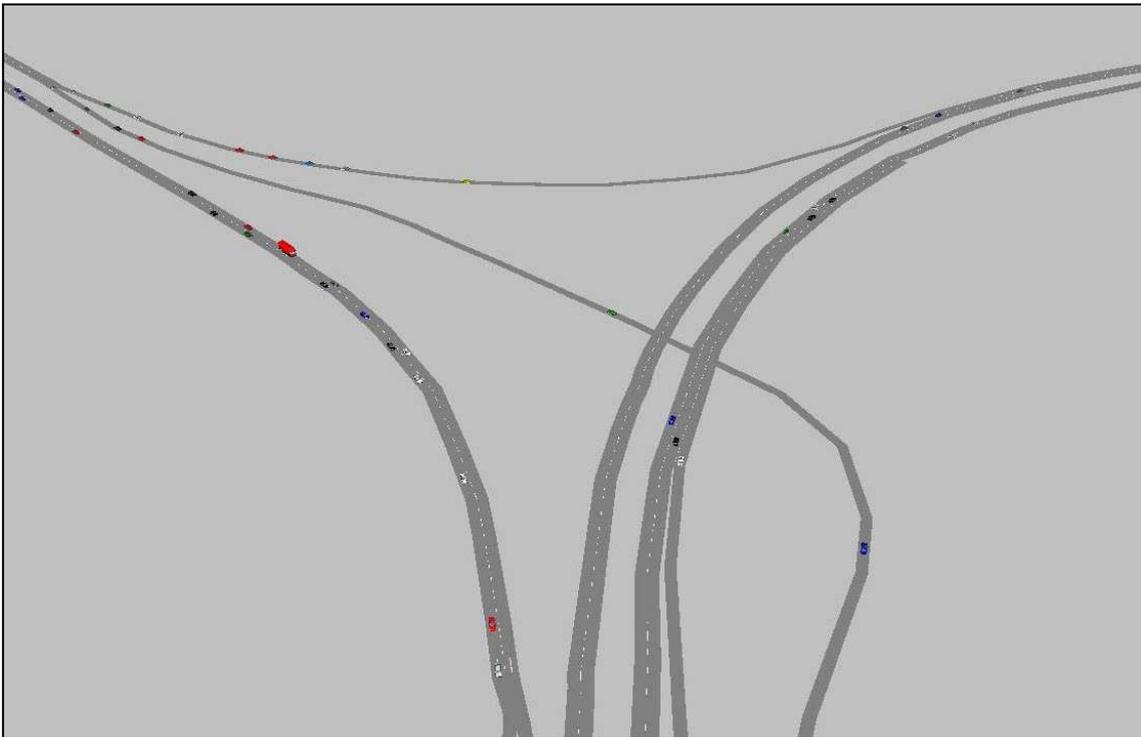


Figura 79 – SDP venerdì sera: particolare svincolo di Cerchiaia

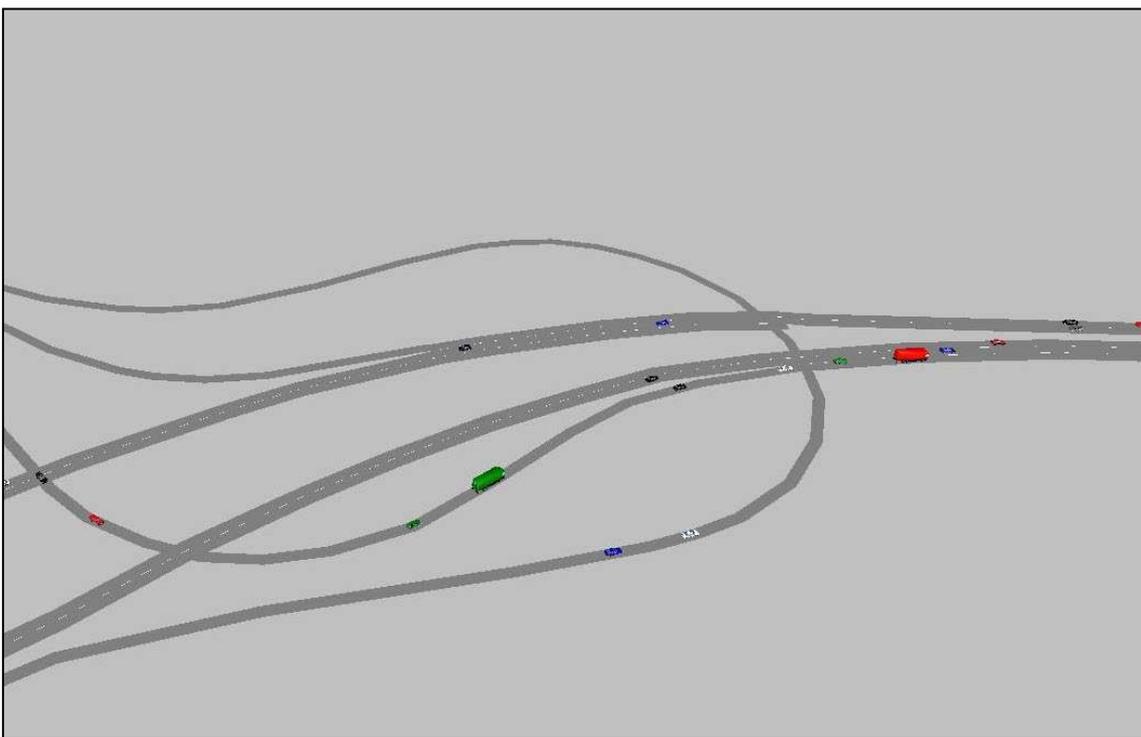


Figura 80 – SDP venerdì sera: particolare svincolo di Ruffolo

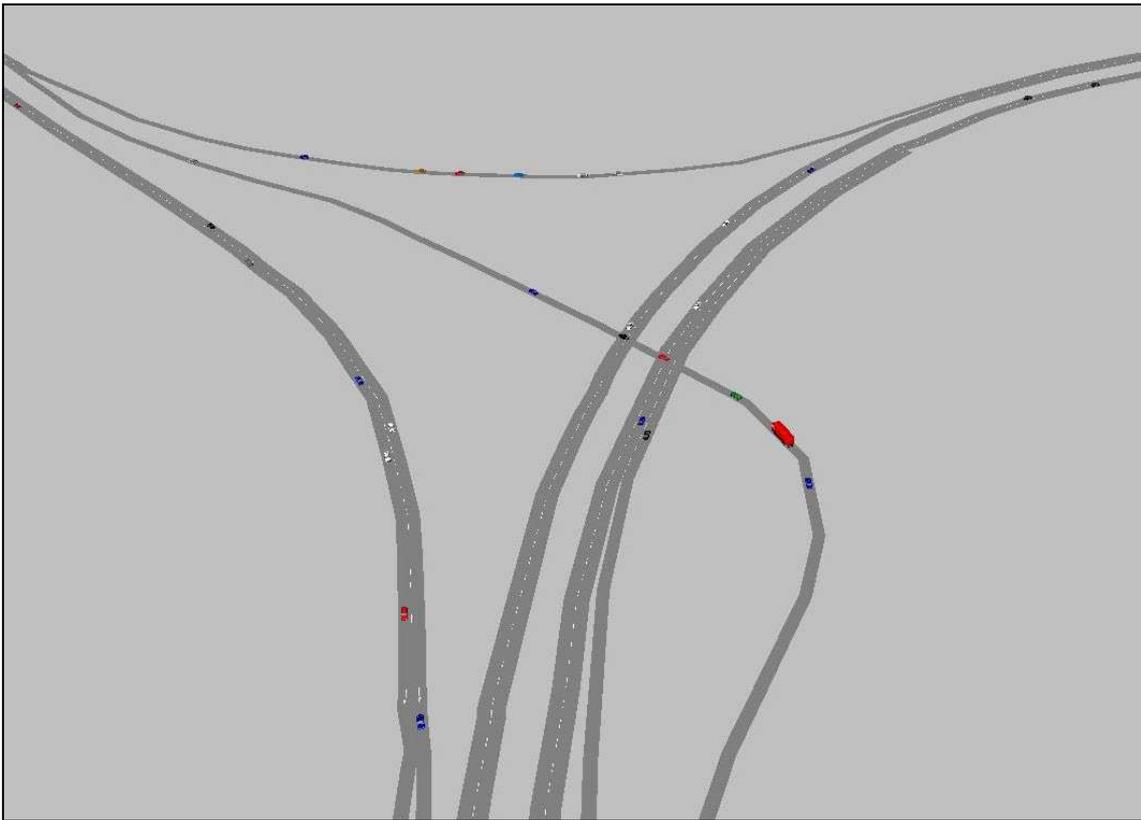


Figura 81 – SDP domenica sera: particolare svincolo di Cerchiaia

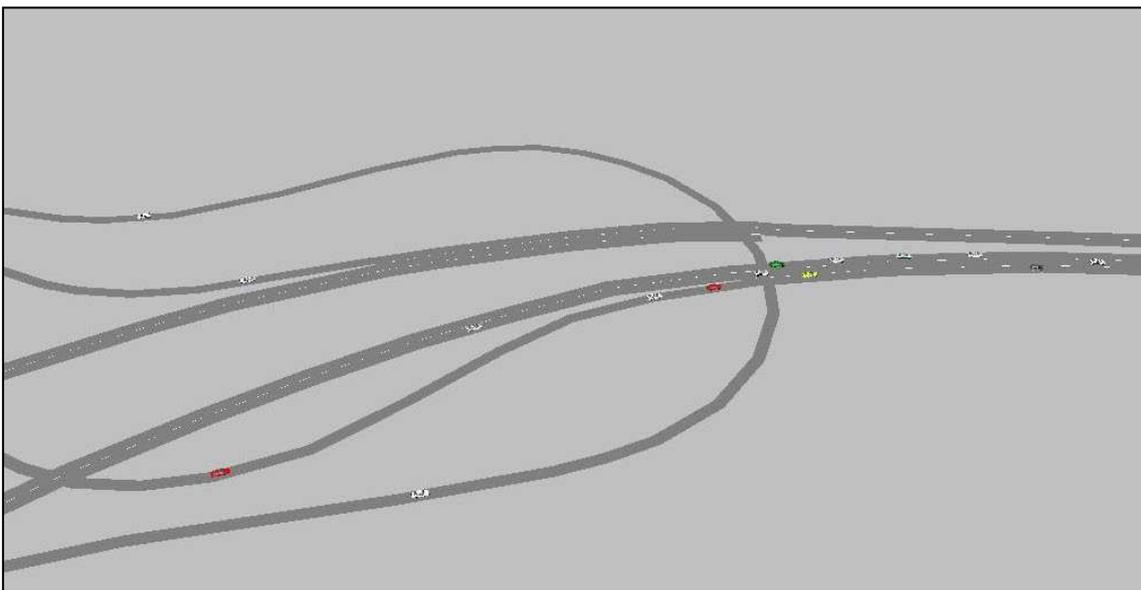


Figura 82 – SDP domenica sera: particolare svincolo di Ruffolo

6 VERIFICA FUNZIONALE DELLE TRATTE STRADALI E DEGLI SVINCOLI

Ulteriori verifiche puntuali della capacità di smaltimento della rete del traffico circolante e previsto sono state svolte lungo il Lotto 0 e in corrispondenza delle corsie di immissione e diversione presenti negli svincoli di Cerchiaia e di Ruffolo. Tali elementi sono oggetto di modifiche nello scenario progettuale, come di seguito descritto.

Per poter analizzare il Lotto 0, questo è stato suddiviso in 3 tratte stradali caratterizzate da diverse sezioni geometriche e/o flussi veicolari che le attraversano:

- la prima tratta, a monte dello svincolo di Cerchiaia, presenta 2 carreggiate separate con 2 corsie per senso di marcia sia nello SDF che nello SDP;
- la seconda tratta, situata tra i 2 svincoli, nello SDF è a carreggiata unica con un'unica corsia per direzione mentre nello SDP, come già detto, subirà delle modifiche geometriche al fine di garantire una continuità di sezione;
- infine, la terza tratta, avente una sezione stradale uguale alla prima, si trova a valle dello svincolo di Ruffolo.

L'immagine seguente mostra le tratte in questione nella loro configurazione attuale.

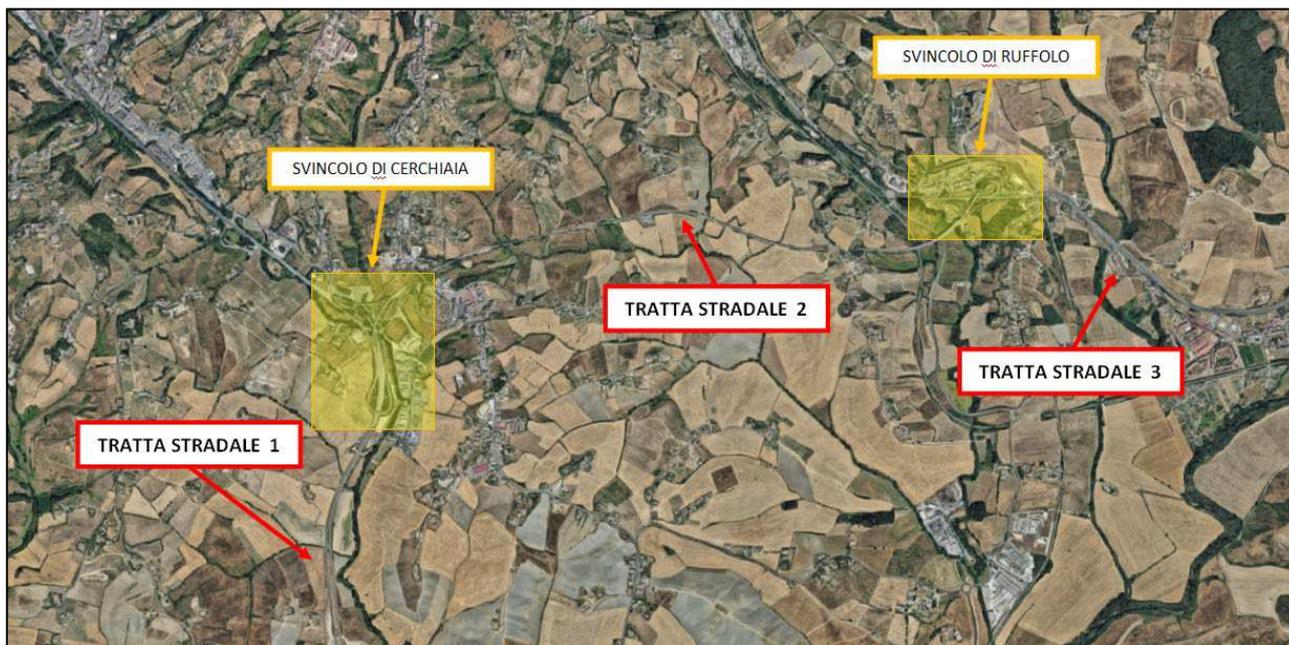


Figura 83 – Layout attuale tratte stradali Lotto 0

Allo stato attuale, lo svincolo di Cerchiaia, mostrato nell'immagine di seguito, presenta una rampa di immissione dalla SS674 e la SS223, per i veicoli che da nord sono diretti a est lungo il Lotto 0, e una rampa di diversione in direzione opposta.

Le altre 2 rampe che si attestano lungo la SS223, individuate in seguito dalle etichette "FI – GR" e "GR – FI", sono caratterizzate da una particolare configurazione planimetrica in cui il tratto stradale rispettivamente confluisce e diverge dalla direttrice principale della SS223: tali assetti vengono definiti nel manuale HCM come "major merge area" e "major diverge area" e sono verificati funzionalmente in un modo diverso rispetto alle rampe di immissione e diversione, come meglio spiegato nei paragrafi successivi.

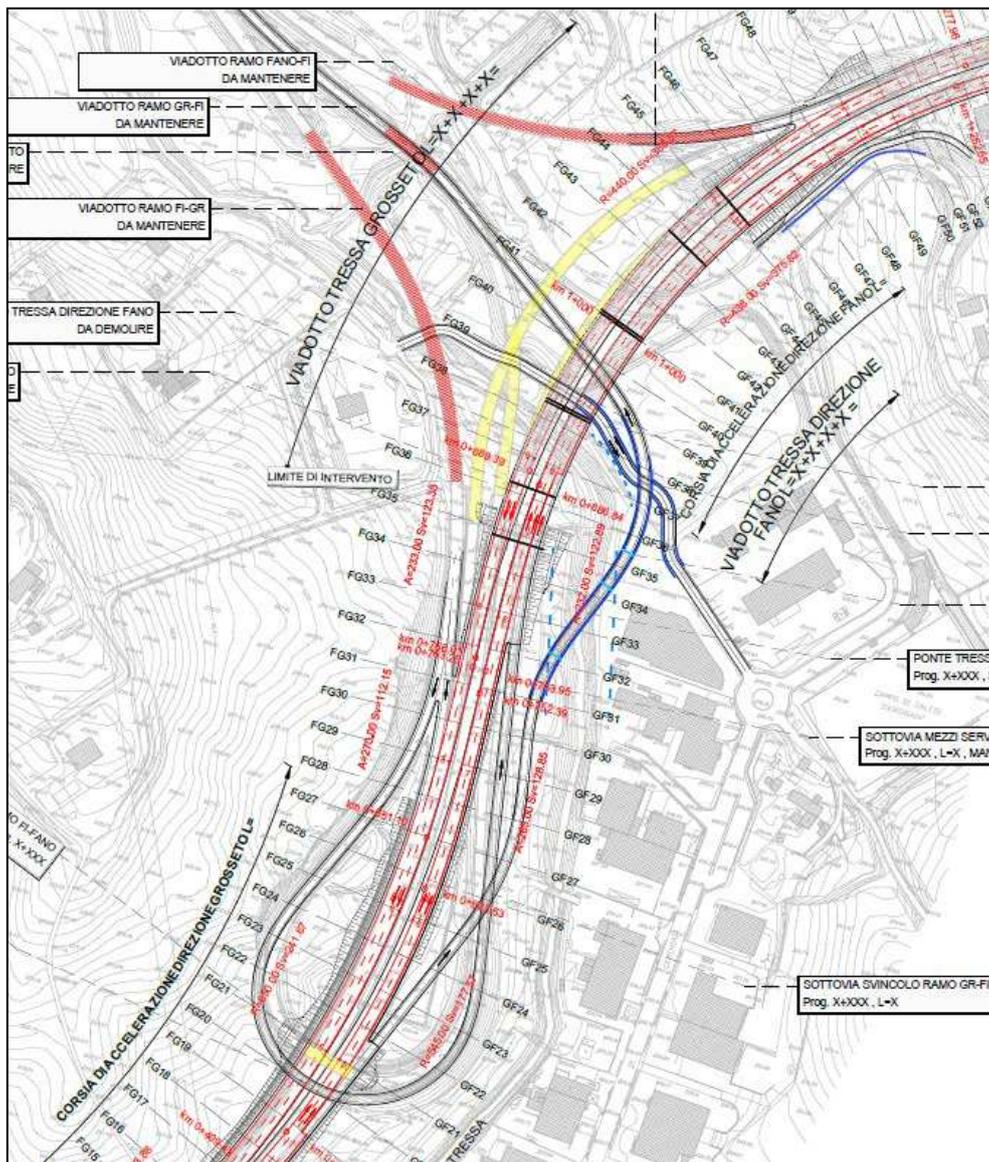


Figura 85 – Layout progettuale svincolo di Cerchiaia

Lo svincolo di Ruffolo, nella configurazione attualmente esistente, presenta come direttrice principale la SS73: su di essa si innestano le 2 rampe di immissione che consentono ai veicoli provenienti dalla SS223 di dirigersi verso est, in direzione Arezzo (rampa “CE – AR”) e verso ovest, in direzione Siena (rampa “CE – SI”) e la rampa di diversione che collega Siena al Lotto 0 (rampa “SI – CE”). Anche in tale svincolo è presente una diversione dalla strada principale, ovvero la rampa “AR – CE”.



Figura 86 – Layout attuale svincolo di Ruffolo

Per lo scenario progettuale, invece, sono previste modifiche nella configurazione più impattanti rispetto allo svincolo di Cerchiaia, dovute principalmente alla volontà di trasformare la SS223 come direttrice principale garantendo, inoltre, una continuità di sezione con il tratto precedente e lungo il proseguimento dell'itinerario europeo E78. In tal senso, è stato necessario ridefinire tutte le 4 rampe di svincolo che si diramano lungo la SS223 e che confluiscono nella nuova rotatoria di collegamento tra il Lotto 0 e il Comune di Siena, come si può vedere nella figura seguente.

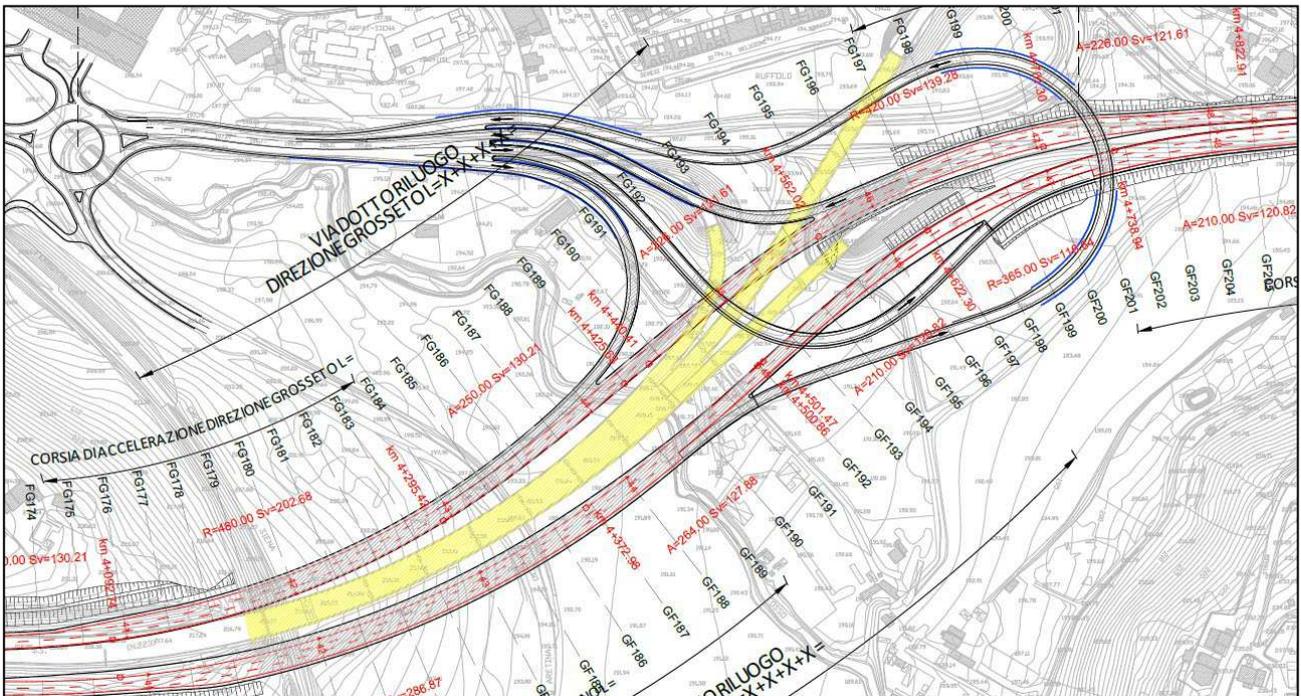


Figura 87 – Layout progettuale svincolo di Ruffolo

6.1 Metodologie di calcolo

L'applicazione del modello HCM si differenzia in base alle caratteristiche della tratta in esame. Pertanto, nell'applicazione agli svincoli oggetto di studio, sono state impiegate differenti metodologie:

- tratte stradali ad una carreggiata (per la tratta 2 nello SDF);
- tratte stradali con 2 carreggiate separate (per le tratte 1 e 3 nello SDF e per tutte le tratte nello SDP);
- tronchi stradali con corsia di accelerazione (a destra o sinistra);
- tronchi stradali con corsia di decelerazione (a destra o sinistra);
- aree di diversione e di confluenza, definite nel manuale HCM rispettivamente come "major merge area" e "major diverge area", presenti nello SDF.

Per tutte le tipologie di elementi stradali analizzati, si sono impiegate, come dato di input, le percentuali di mezzi pesanti riportate in Tabella 5.

6.2 Metodologia di calcolo segmenti stradali ad una carreggiata

Per determinare il livello di servizio (di seguito indicato in breve LdS) delle tratte stradali aventi un'unica carreggiata, il metodo HCM prevede il calcolo della percentuale di tempo perso dei veicoli (definito nel manuale come PTFS ovvero "percent time-spent-following"), ovvero la quantità di tempo, rispetto al tempo di viaggio totale, dei veicoli che devono viaggiare in plotoni dietro veicoli più lenti a causa dell'impossibilità di effettuare un sorpasso.

Tale fattore è funzione dei seguenti parametri:

- Flusso di veicoli equivalenti, basato sul tipo di terreno e sulla percentuale di mezzi pesanti;
- Percentuale di zone interdette al sorpasso rispetto alla lunghezza totale della tratta;
- Velocità media di viaggio per entrambi i sensi di marcia;
- Fattori di aggiustamento che tengono conto della diversa distribuzione dei flussi di traffico nelle due direzioni di marcia.

Il Livello di Servizio può essere allora determinato confrontando il parametro PTFS nel tratto stradale con la classificazione proposta dall'HCM, come riportato nella tabella seguente.

EXHIBIT 20-2. LOS CRITERIA FOR TWO-LANE HIGHWAYS IN CLASS I		
LOS	Percent Time-Spent-Following	Average Travel Speed (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	> 35-50	> 80-90
C	> 50-65	> 70-80
D	> 65-80	> 60-70
E	> 80	≤ 60

Tabella 21 – Criteri per il calcolo LdS in casi di segmenti stradali ad una carreggiata

6.3 Metodologia di calcolo segmenti stradali a carreggiate separate

Per le tratte stradali aventi carreggiate separate, invece, il livello di servizio è funzione della densità veicolare, come mostrato nella tabella seguente: come si può notare, il valore minimo di densità veicolare che determina il livello di servizio E aumenta in modo direttamente proporzionale rispetto al valore di velocità a flusso libero della tratta in esame.

La densità è così determinata:

$$D = \frac{V_p}{S} \quad \text{con} \quad V_p = \frac{V}{PHF * N * f_{HV} * f_p}$$

Dove:

- V_p è il flusso di veicoli equivalenti, che dipende dalla percentuale di mezzi pesanti, dal numero di corsie della tratta, dal coefficiente dell'ora di punta e da un coefficiente che dipende dalla tipologia di utente (abituale o turistico);
- S è la velocità media di viaggio, posta pari alla velocità a flusso libero in caso il flusso di traffico sia minore di 1400 veicoli equivalenti.

EXHIBIT 21-2. LOS CRITERIA FOR MULTILANE HIGHWAYS						
Free-Flow Speed	Criteria	LOS				
		A	B	C	D	E
100 km/h	Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	25
	Average speed (km/h)	100.0	100.0	98.4	91.5	88.0
	Maximum volume to capacity ratio (v/c)	0.32	0.50	0.72	0.92	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	700	1100	1575	2015	2200
90 km/h	Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	26
	Average speed (km/h)	90.0	90.0	89.8	84.7	80.8
	Maximum v/c	0.30	0.47	0.68	0.89	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	630	990	1435	1860	2100
80 km/h	Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	27
	Average speed (km/h)	80.0	80.0	80.0	77.6	74.1
	Maximum v/c	0.28	0.44	0.64	0.85	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	560	880	1280	1705	2000
70 km/h	Maximum density (pc/km/ln)	7	11	16	22	28
	Average speed (km/h)	70.0	70.0	70.0	69.6	67.9
	Maximum v/c	0.26	0.41	0.59	0.81	1.00
	Maximum service flow rate (pc/h/ln)	490	770	1120	1530	1900

Tabella 22 – Criteri per il calcolo LdS in casi di segmenti stradali a carreggiate separate

6.4 Metodologia di calcolo corsie specializzate di accelerazione o decelerazione

Per la definizione del livello di servizio dei tronchi stradali composti da due o più corsie e dalla corsia di accelerazione o decelerazione, il metodo HCM propone il calcolo della densità D_R intesa come veicoli equivalenti presenti su un chilometro di corsia.

Essa è calcolata secondo la seguente formula per tronchi stradali con corsia di accelerazione:

$$D_R = 3.402 + 0.00456v_R + 0.0048v_{12} - 0.01278L_A$$

e secondo la seguente formula per tronchi stradali con corsia di decelerazione:

$$D_R = 2.642 + 0.0053v_{12} - 0.0183L_D$$

Nella figura successiva è riportato in modo schematico un esempio della tipologia di tratta in analisi e i relativi parametri utilizzati per il calcolo del LdS.

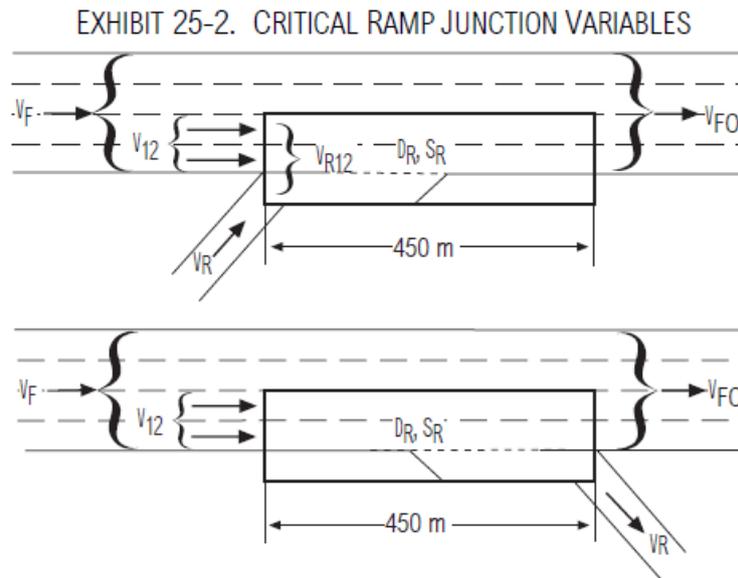


Figura 88 – Esempio di tronco stradale con corsia di accelerazione e decelerazione

Relativamente alla figura precedente i parametri sotto riportati hanno i seguenti significati:

- V_R è il flusso di veicoli equivalenti proveniente dalla corsia di accelerazione;
- V_{12} è il flusso di veicoli equivalenti provenienti dalle due corsie prossime alla corsia di accelerazione;
- L_A e L_D sono la lunghezza rispettivamente della corsia di accelerazione di decelerazione.

Il Livello di Servizio può essere allora determinato confrontando la densità D_R nel tratto di ingresso/uscita con la classificazione proposta dall'HCM, come riportato nella tabella seguente.

EXHIBIT 25-4. LOS CRITERIA FOR MERGE AND DIVERGE AREAS	
LOS	Density (pc/km/ln)
A	≤ 6
B	$> 6-12$
C	$> 12-17$
D	$> 17-22$
E	> 22
F	Demand exceeds capacity

Tabella 23 – Criteri per il calcolo LdS in casi di corsia di accelerazione o decelerazione

In maniera generica, i vari LdS definiscono i seguenti stadi di circolazione:

- **LdS A** → circolazione libera, cioè ogni veicolo si muove senza alcun vincolo ed in libertà assoluta di manovra entro la corrente: massimo comfort, flusso stabile;
- **LdS B** → il tipo di circolazione può considerarsi ancora libera ma si verifica una modesta riduzione nella velocità e le manovre cominciano a risentire della presenza degli altri utenti: comfort accettabile, flusso stabile;
- **LdS C** → la presenza degli altri veicoli determina vincoli sempre maggiori nel mantenere la velocità desiderata e nella libertà di manovra, si riduce il comfort ma il flusso ancora stabile;
- **LdS D** → si restringe il campo di scelta della velocità e la libertà di manovra, si ha elevata

densità ed insorgono problemi di disturbo, il comfort si abbassa ed il flusso può divenire instabile;

- **LdS E** → il flusso si avvicina al limite della capacità compatibile con l'arteria e si riducono la velocità e la libertà di manovra, il flusso diviene instabile in quanto anche modeste perturbazioni possono causare fenomeni di congestione;
- **LdS F** → flusso forzato, il volume veicolare smaltibile si abbassa insieme alla velocità, si verificano facilmente condizioni instabili di deflusso fino all'insorgere di forti fenomeni di accodamento.

6.5 Metodologia di calcolo per le major merge/diverge area

Le major merge area si hanno quando due strade principali, ciascuna con una o più corsie, confluiscono in un unico tratto stradale. L'area di confluenza è presente nello SDF nello svincolo di Cerchiaia tra le strade SS674 e SS223 in direzione sud: in essa in numero di corsie a valle della confluenza è pari alla somma delle corsie delle singole strade, come viene mostrato nell'immagine seguente.

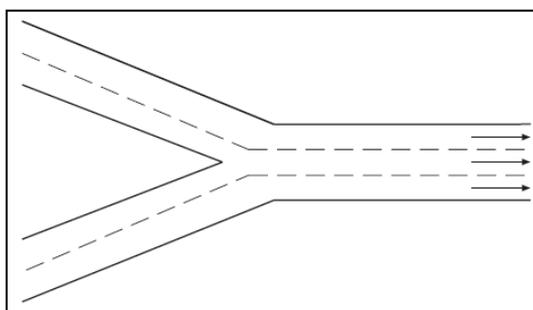


Figura 89 – Esempio di tronco stradale con confluenza

Non esiste un metodo efficace per poter verificare tale particolare configurazione: l'analisi si limita a controllare che la capacità di ciascun tratto stradale in entrata nell'area di confluenza non superi il flusso massimo consentito su di essi mentre la capacità della strada a valle della confluenza deve essere confrontata con la somma dei due massimi flussi in entrata.

Nel caso specifico, trattandosi di flussi veicolari bassi in entrambe le ore di punta del venerdì e della domenica, si ritiene tale verifica soddisfatta.

Le major diverge area si hanno, invece, quando da una strada principale si dipartono due strade.

Nell'area di studio sono presenti due diverge area relative allo SDF: una nello svincolo di Cerchiaia (rampa "GR - FI") e l'altra in quello di Ruffolo (rampa "AR - CE"). In ognuno di essi, il numero di corsie che entra nell'area di diversione è pari alla somma del numero di corsie che ne escono.

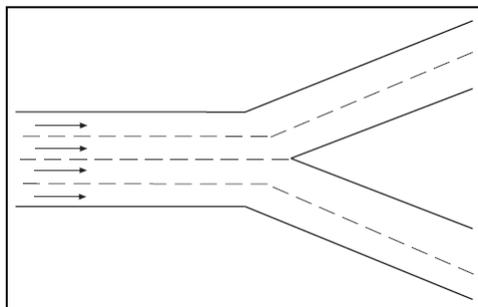


Figura 90 – Esempio di tronco stradale con diversione

La verifica funzionale delle diverge area consiste nel determinare la densità del tratto stradale a monte dell'area di diversione, tramite la seguente formula:

$$D = 0.0109 \frac{V_F}{N}$$

dove:

- V_F è il flusso di veicoli equivalenti che si appresta ad attraversare l'area di divergenza;
- N è il numero di corsie presenti nel tratto stradale di monte.

La densità così ottenuta permette quindi di ottenere la stima del LdS attraverso il confronto con i range di valori indicati in Tabella 11, analogamente a quanto visto per le corsie specializzate di immissione e diversione.

6.6 Risultati delle verifiche funzionali

Per gli scenari SDF e SDP, vengono di seguito indicati in forma tabellare i dati di input impiegati per il calcolo della densità veicolare e quindi del livello di servizio per ciascun elemento stradale analizzato nelle ore di punta serali del venerdì e della domenica.

Scenario SDF

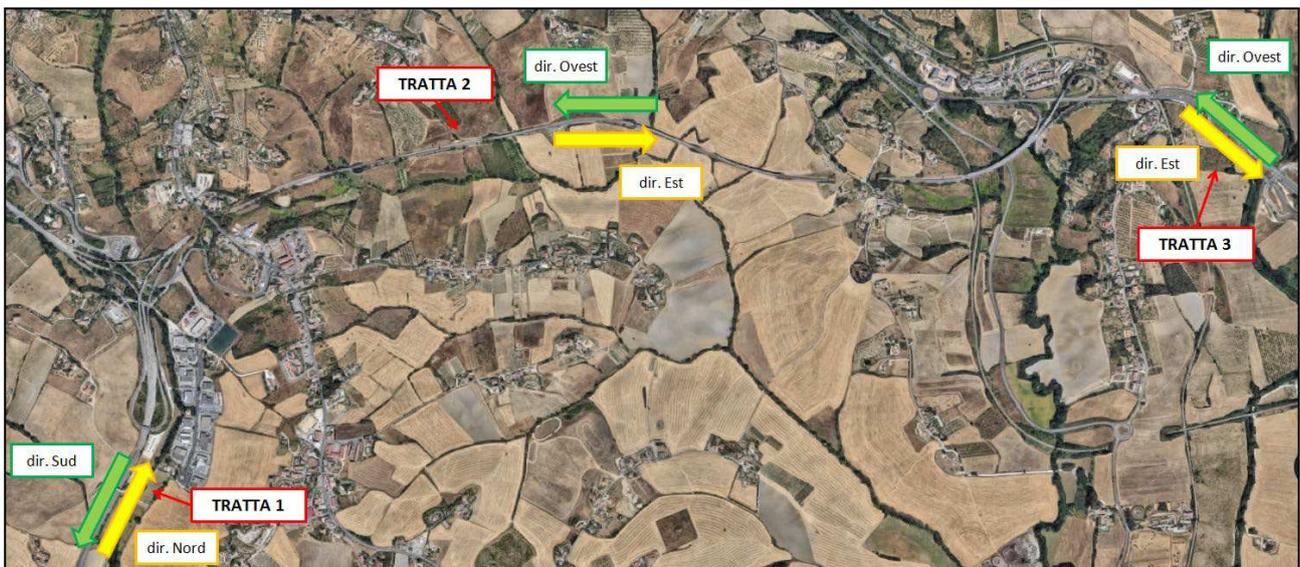


Figura 91 – Scenario SDF: tratte stradali analizzate

SDF VENERDI' SERA				SDF DOMENICA SERA			
Tratta stradale: 1				Tratta stradale: 1			
SS223 - A monte dello svincolo di Cerchiaia dir. Nord	V	765	veic./h	V	1301	veic./h	
	PHF	1		PHF	1		
	f _p	1		f _p	0.95		
	PT	12%		PT	3%		
	ET	1.5		ET	1.5		
	PR	0%		PR	0%		
	ER	1.2		ER	1.2		
	N	2		N	2		
	V _p	405.3	veic. eq./h	V _p	695.9	veic. eq./h	
	BFFS	70	km/h	BFFS	70	km/h	
	S	63.72	km/h	S	63.72	km/h	
	D	6.4	veic/km	D	10.9	veic/km	
	LdS	A		LdS	B		

Tabella 24 – SDF: dati di input e livelli di servizio tratta stradale 1 dir. Nord

SDF VENERDI' SERA				SDF DOMENICA SERA			
Tratta stradale: 1				Tratta stradale: 1			
SS223 - A monte dello svincolo di Cerchiaia dir. Sud	V	1062	veic./h	V	417	veic./h	
	PHF	1		PHF	1		
	f _p	1		f _p	0.95		
	PT	11%		PT	3%		
	ET	1.5		ET	1.5		
	PR	0%		PR	0%		
	ER	1.2		ER	1.2		
	N	2		N	2		
	V _p	559.8	veic. eq./h	V _p	223.1	veic. eq./h	
	BFFS	70	km/h	BFFS	70	km/h	
	S	63.72	km/h	S	63.72	km/h	
	D	8.8	veic/km	D	3.5	veic/km	
	LdS	B		LdS	A		

Tabella 25 – SDF: dati di input e livelli di servizio tratta stradale 1 dir. Sud

SDF VENERDI' SERA				SDF DOMENICA SERA			
Tratta stradale: 2				Tratta stradale: 2			
SS223 - Tra i due svincoli	V	1478	veic./h	SS223 - Tra i due svincoli	V	1488	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _G	1			f _G	1	
	PT	12%			PT	4%	
	ET	1.1			ET	1.1	
	PR	0%			PR	0%	
	ER	1			ER	1	
	N	1			N	1	
	V _p	1495.2	veic. eq./h		V _p	1493.7	veic. eq./h
	BFFS	70	km/h		BFFS	70	km/h
	S	64.66	km/h		S	64.66	km/h
	PTFS	79.8			PTFS	79.7	
	LdS	D			LdS	D	

Tabella 26 – SDF: dati di input e livelli di servizio tratta stradale 2

SDF VENERDI' SERA				SDF DOMENICA SERA			
Tratta stradale: 3				Tratta stradale: 3			
SS223 - A valle dello svincolo di Ruffolo dir. Est	V	1034	veic./h	SS223 - A valle dello svincolo di Ruffolo dir. Est	V	1249	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT	8%			PT	3%	
	ET	1.5			ET	1.5	
	PR	0%			PR	0%	
	ER	1.2			ER	1.2	
	N	2			N	2	
	V _p	548.8	veic. eq./h		V _p	667.0	veic. eq./h
	BFFS	90	km/h		BFFS	90	km/h
	S	78.27	km/h		S	78.27	km/h
	D	7.0	veic/km		D	8.5	veic/km
	LdS	B			LdS	B	

Tabella 27 – SDF: dati di input e livelli di servizio tratta stradale 3 dir. Est

SDF VENERDI' SERA				SDF DOMENICA SERA			
Tratta stradale: 3				Tratta stradale: 3			
SS223 - A valle dello svincolo di Ruffolo dir. Ovest	V	1011	veic./h	V	743	veic./h	
	PHF	1		PHF	1		
	f _p	1		f _p	0.95		
	PT	9%		PT	3%		
	ET	1.5		ET	1.5		
	PR	0%		PR	0%		
	ER	1.2		ER	1.2		
	N	2		N	2		
	V _p	550.3	veic. eq./h	V _p	397.9	veic. eq./h	
	BFFS	90	km/h	BFFS	90	km/h	
	S	78.60	km/h	S	78.60	km/h	
	D	7.0	veic/km	D	5.1	veic/km	
	LdS	B		LdS	A		

Tabella 28 – SDF: dati di input e livelli di servizio tratta stradale 3 dir. Ovest

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei flussi, in termini di veicoli totali, e dei livelli di servizio di ciascuna tratta stradale per lo scenario SDF.

SDF: LIVELLI DI SERVIZIO							
Tratta stradale		Metodologia	Direzione	VEN SERA		DOM SERA	
				Flussi	LdS	Flussi	LdS
1	A monte dello svincolo di Cerchiaia	Carreggiate separate	Nord	765	A	1301	B
			Sud	1062	B	417	A
2	Tra i due svincoli	Carreggiata unica	-	1478	D	1488	D
3	A valle dello svincolo di Ruffolo	Carreggiate separate	Est	1034	B	1249	B
			Ovest	1011	B	743	A

Tabella 29 – SDF: livelli di servizio tratte stradali

Come si può notare, nella tratta centrale del Lotto 0 il livello di servizio è pari a D sia per il venerdì che per la domenica. Questo, secondo la metodologia HCM per i segmenti stradali ad unica carreggiata con una corsia per senso di marcia, è dovuto al confronto tra il flusso in transito e la capacità, che risulta ridotta rispetto alle tratte precedenti che sono a carreggiate separate.

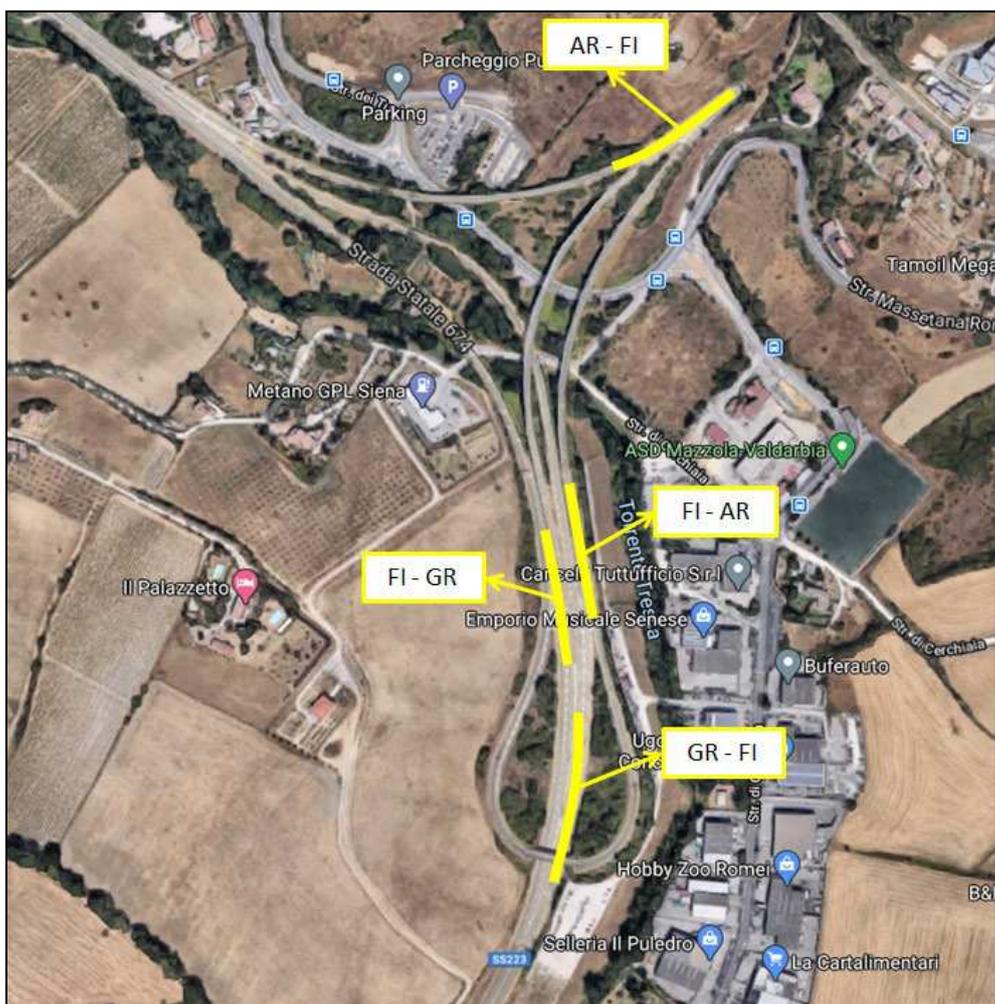


Figura 92 – Scenario SDF: elementi analizzati svincolo di Cerchiaia

SDF VENERDI' SERA				SDF DOMENICA SERA			
Svincolo di Cerchiaia: Rampa FI-AR				Svincolo di Cerchiaia: Rampa FI-AR			
Corsia di immissione	L _A	87	m	L _A	87	m	
	V rampa	277	veic./h	V rampa	366	veic./h	
	V principale	357	veic./h	V principale	539	veic./h	
	PHF	1		PHF	1		
	f _p	1		f _p	0.95		
	PT rampa	12%		PT rampa	5%		
	ET rampa	1.5		ET rampa	1.5		
	PT principale	10%		PT principale	1%		
	ET principale	1.5		ET principale	1.5		
	V _p rampa	293.3	veic. eq./h	V _p rampa	394.6	veic. eq./h	
	V _p principale	375.7	veic. eq./h	V _p principale	571.5	veic. eq./h	
	D	5.4	veic/km	D	6.8	veic/km	
	LdS	A		LdS	B		

Tabella 30 – SDF sv. Cerchiaia: dati di input e livelli di servizio rampa FI-AR

SDF VENERDI' SERA				SDF DOMENICA SERA			
Svincolo di Cerchiaia: Rampa AR-FI				Svincolo di Cerchiaia: Rampa AR-FI			
Corsia di diversione	L _D	69	m	Corsia di diversione	L _D	69	m
	V rampa	520	veic./h		V rampa	409	veic./h
	V principale	843	veic./h		V principale	583	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT rampa	13%			PT rampa	5%	
	ET rampa	1.5			ET rampa	1.5	
	PT principale	12%			PT principale	4%	
	ET principale	1.5			ET principale	1.5	
	V _p rampa	553.5	veic. eq./h		V _p rampa	440.4	veic. eq./h
	V _p principale	892.0	veic. eq./h		V _p principale	625.4	veic. eq./h
	D	6.1	veic/km		D	4.7	veic/km
	LdS	B			LdS	A	

Tabella 31 – SDF sv. Cerchiaia: dati di input e livelli di servizio rampa AR-FI

SDF VENERDI' SERA				SDF DOMENICA SERA			
Svincolo di Cerchiaia: Rampa GR-FI				Svincolo di Cerchiaia: Rampa GR-FI			
Major diverge area	V _R	408	veic./h	Major diverge area	V _R	762	veic./h
	V _F	765	veic./h		V _F	1301	veic./h
	N	2			N	2	
	D	4.2	veic/km		D	7.1	veic/km
	LdS	A			LdS	B	

Tabella 32 – SDF sv. Cerchiaia: dati di input e livelli di servizio rampa GR-FI

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei flussi, in termini di veicoli totali, e dei livelli di servizio di ciascuna rampa esaminata per lo svincolo di Cerchiaia per lo scenario SDF.

SDF: LIVELLI DI SERVIZIO						
Svincolo	Elemento	Metodologia	VEN SERA		DOM SERA	
			Flussi	LdS	Flussi	LdS
CERCHIAIA	Rampa FI - GR	Major merge area	739	-	243	-
	Rampa FI - AR	Immissione	277	A	366	B
	Rampa AR - FI	Diversione	520	B	409	A
	Rampa GR - FI	Major diverge area	408	A	762	B

Tabella 33 – SDF: livelli di servizio svincolo di Cerchiaia



Figura 93 – Scenario SDF: elementi analizzati svincolo di Ruffolo

SDF VENERDI' SERA				SDF DOMENICA SERA			
Svincolo di Ruffolo: Rampa SI-CE				Svincolo di Ruffolo: Rampa SI-CE			
Corsia di diversione	L _D	42	m	L _D	42	m	
	V rampa	164	veic./h	V rampa	89	veic./h	
	V principale	663	veic./h	V principale	493	veic./h	
	PHF	1		PHF	1		
	f _p	1		f _p	0.95		
	PT rampa	10%		PT rampa	1%		
	ET rampa	1.5		ET rampa	1.5		
	PT principale	8%		PT principale	3%		
	ET principale	1.5		ET principale	1.5		
	V _p rampa	172.5	veic. eq./h	V _p rampa	94.3	veic. eq./h	
	V _p principale	689.8	veic. eq./h	V _p principale	525.5	veic. eq./h	
	D	5.5	veic/km	D	4.7	veic/km	
	LdS	A		LdS	A		

Tabella 34 - SDF sv. Ruffolo: dati di input e livelli di servizio rampa SI-CE

SDF VENERDI' SERA				SDF DOMENICA SERA			
Svincolo di Ruffolo: Rampa CE-SI				Svincolo di Ruffolo: Rampa CE-SI			
Corsia di immissione	L _A	108	m	Corsia di immissione	L _A	108	m
	V rampa	100	veic./h		V rampa	60	veic./h
	V principale	332	veic./h		V principale	249	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT rampa	19%			PT rampa	2%	
	ET rampa	1.5			ET rampa	1.5	
	PT principale	9%			PT principale	3%	
	ET principale	1.5			ET principale	1.5	
	V _p rampa	109.5	veic. eq./h		V _p rampa	63.8	veic. eq./h
	V _p principale	347.1	veic. eq./h		V _p principale	266.7	veic. eq./h
	D	4.2	veic/km		D	3.6	veic/km
	LdS	A			LdS	A	

Tabella 35 – SDF sv. Ruffolo: dati di input e livelli di servizio rampa CE-SI

SDF VENERDI' SERA				SDF DOMENICA SERA			
Svincolo di Ruffolo: Rampa CE-AR				Svincolo di Ruffolo: Rampa CE-AR			
Corsia di immissione	L _A	53	m	Corsia di immissione	L _A	53	m
	V rampa	535	veic./h		V rampa	846	veic./h
	V principale	499	veic./h		V principale	404	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT rampa	9%			PT rampa	3%	
	ET rampa	1.5			ET rampa	1.5	
	PT principale	8%			PT principale	3%	
	ET principale	1.5			ET principale	1.5	
	V _p rampa	558.7	veic. eq./h		V _p rampa	905.4	veic. eq./h
	V _p principale	517.7	veic. eq./h		V _p principale	430.9	veic. eq./h
	D	7.7	veic/km		D	8.9	veic/km
	LdS	B			LdS	B	

Tabella 36 – SDF sv. Ruffolo: dati di input e livelli di servizio rampa CE-AR

SDF VENERDI' SERA				SDF DOMENICA SERA			
Svincolo di Ruffolo: Rampa AR-CE				Svincolo di Ruffolo: Rampa AR-CE			
Major diverge area	V _R	679	veic./h	Major diverge area	V _R	494	veic./h
	V _F	1011	veic./h		V _F	743	veic./h
	N	2			N	2	
	D	5.5	veic/km		D	4.0	veic/km
	LdS	A			LdS	A	

Tabella 37 – SDF sv. Ruffolo: dati di input e livelli di servizio rampa AR-CE

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei flussi, in termini di veicoli totali, e dei livelli di servizio di ciascuna rampa esaminata per lo svincolo di Ruffolo per lo scenario SDF.

SDF: LIVELLI DI SERVIZIO						
Svincolo	Elemento	Metodologia	VEN SERA		DOM SERA	
			Flussi	LdS	Flussi	LdS
RUFFOLO	Rampa SI - CE	Diversione	164	A	89	A
	Rampa CE - SI	Immissione	100	A	60	A
	Rampa CE - AR	Immissione	535	B	846	B
	Rampa AR - CE	Major diverge area	679	A	494	A

Tabella 38 – SDF: livelli di servizio svincolo di Ruffolo

Scenario SDP

Di seguito si riporta un particolare della tratta stradale 2, compresa tra i due svincoli, nella configurazione progettuale poiché le tratte 1 e 3 non subiscono variazioni geometriche nello SDP.

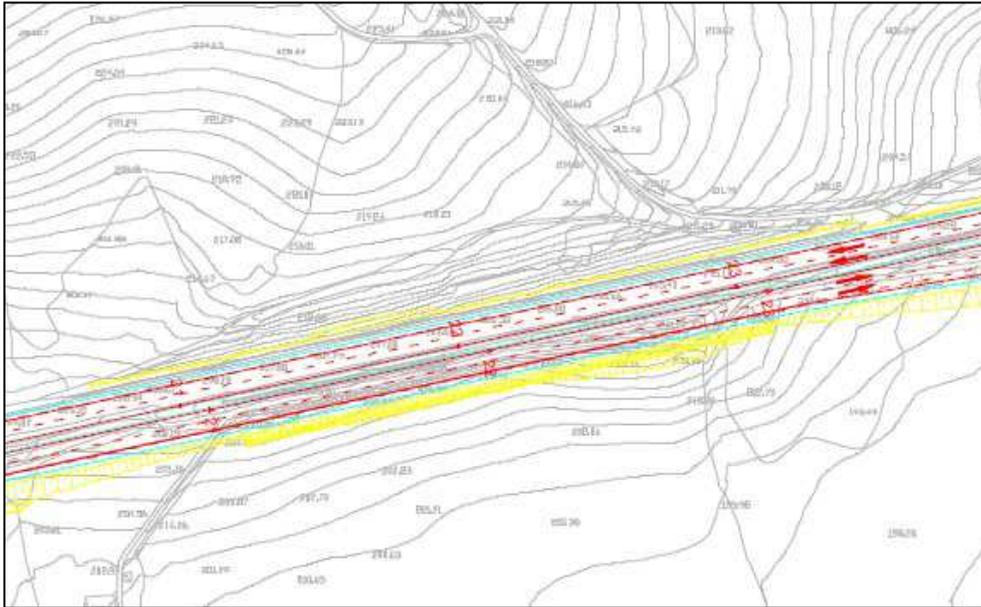


Figura 94 – Scenario SDP: particolare della tratta stradale 2

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Tratta stradale: 1				Tratta stradale: 1			
SS223 - A monte dello svincolo di Cerchiaia dir. Nord	V	1097	veic./h	V	1537	veic./h	
	PHF		1	PHF		1	
	f _p		1	f _p		0.95	
	PT		12%	PT		3%	
	ET		1.5	ET		1.5	
	PR		0%	PR		0%	
	ER		1.2	ER		1.2	
	N		2	N		2	
	V _p	581.2	veic. eq./h	V _p	822.1	veic. eq./h	
	BFFS	90	km/h	BFFS	90	km/h	
	S	83.90	km/h	S	83.90	km/h	
	D	6.9	veic/km	D	9.8	veic/km	
	LdS		A	LdS		B	

Tabella 39 – SDP: dati di input e livelli di servizio tratta stradale 1 dir. Nord

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Tratta stradale: 1				Tratta stradale: 1			
SS223 - A monte dello svincolo di Cerchiaia dir. Sud	V	1105	veic./h	SS223 - A monte dello svincolo di Cerchiaia dir. Sud	V	549	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT	11%			PT	3%	
	ET	1.5			ET	1.5	
	PR	0%			PR	0%	
	ER	1.2			ER	1.2	
	N	2			N	2	
	V _p	582.5	veic. eq./h		V _p	293.7	veic. eq./h
	BFFS	90	km/h		BFFS	90	km/h
	S	83.90	km/h		S	83.90	km/h
	D	6.9	veic/km		D	3.5	veic/km
	LdS	A			LdS	A	

Tabella 40 – SDP: dati di input e livelli di servizio tratta stradale 1 dir. Sud

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Tratta stradale: 2				Tratta stradale: 2			
SS223 - Tra i due svincoli dir. Est	V	740	veic./h	SS223 - Tra i due svincoli dir. Est	V	873	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT	12%			PT	4%	
	ET	1.5			ET	1.5	
	PR	0%			PR	0%	
	ER	1.2			ER	1.2	
	N	2			N	2	
	V _p	391.5	veic. eq./h		V _p	468.3	veic. eq./h
	BFFS	110	km/h		BFFS	110	km/h
	S	107.91	km/h		S	107.91	km/h
	D	3.6	veic/km		D	4.3	veic/km
	LdS	A			LdS	A	

Tabella 41 – SDP: dati di input e livelli di servizio tratta stradale 2 dir. Est

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Tratta stradale: 2				Tratta stradale: 2			
SS223 - Tra i due svincoli dir. Ovest	V	1102	veic./h	SS223 - Tra i due svincoli dir. Ovest	V	648	veic./h
	PHF		1		PHF		1
	f _p		1		f _p		0.95
	PT		12%		PT		4%
	ET		1.5		ET		1.5
	PR		0%		PR		0%
	ER		1.2		ER		1.2
	N		2		N		2
	V _p	583.0	veic. eq./h		V _p	347.6	veic. eq./h
	BFFS	110	km/h		BFFS	110	km/h
	S	108.35	km/h		S	108.35	km/h
	D	5.4	veic/km		D	3.2	veic/km
	LdS		A		LdS		A

Tabella 42 – SDP: dati di input e livelli di servizio tratta stradale 2 dir. Ovest

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Tratta stradale: 3				Tratta stradale: 3			
SS223 - A valle dello svincolo di Ruffolo dir. Est	V	1095	veic./h	SS223 - A valle dello svincolo di Ruffolo dir. Est	V	1235	veic./h
	PHF		1		PHF		1
	f _p		1		f _p		0.95
	PT		9%		PT		3%
	ET		1.5		ET		1.5
	PR		0%		PR		0%
	ER		1.2		ER		1.2
	N		2		N		2
	V _p	573.0	veic. eq./h		V _p	688.6	veic. eq./h
	BFFS	110	km/h		BFFS	110	km/h
	S	98.27	km/h		S	98.27	km/h
	D	5.8	veic/km		D	7.0	veic/km
	LdS		A		LdS		B

Tabella 43 – SDP: dati di input e livelli di servizio tratta stradale 3 dir. Est

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Tratta stradale: 3				Tratta stradale: 3			
SS223 - A valle dello svincolo di Ruffolo dir. Ovest	V	1013	veic./h	V	766	veic./h	
	PHF	1		PHF	1		
	f _p	1		f _p	0.95		
	PT	10%		PT	3%		
	ET	1.5		ET	1.5		
	PR	0%		PR	0%		
	ER	1.2		ER	1.2		
	N	2		N	2		
	V _p	531.9	veic. eq./h	V _p	410.1	veic. eq./h	
	BFFS	110	km/h	BFFS	110	km/h	
	S	98.60	km/h	S	98.60	km/h	
	D	5.4	veic/km	D	4.2	veic/km	
	LdS	A		LdS	A		

Tabella 44 – SDP: dati di input e livelli di servizio tratta stradale 3 dir. Ovest

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei flussi, in termini di veicoli totali, e dei livelli di servizio di ciascuna tratta stradale per lo scenario SDP.

SDP: LIVELLI DI SERVIZIO							
Tratta stradale		Metodologia	Direzione	VEN SERA		DOM SERA	
				Flussi	LdS	Flussi	LdS
1	A monte dello svincolo di Cerchiaia	Carreggiate separate	Nord	1097	A	1537	B
			Sud	1105	A	549	A
2	Tra i due svincoli	Carreggiate separate	Est	740	A	873	A
			Ovest	1102	A	648	A
3	A valle dello svincolo di Ruffolo	Carreggiate separate	Est	1095	A	1235	B
			Ovest	1013	A	766	A

Tabella 45 – SDP: livelli di servizio tratte stradali

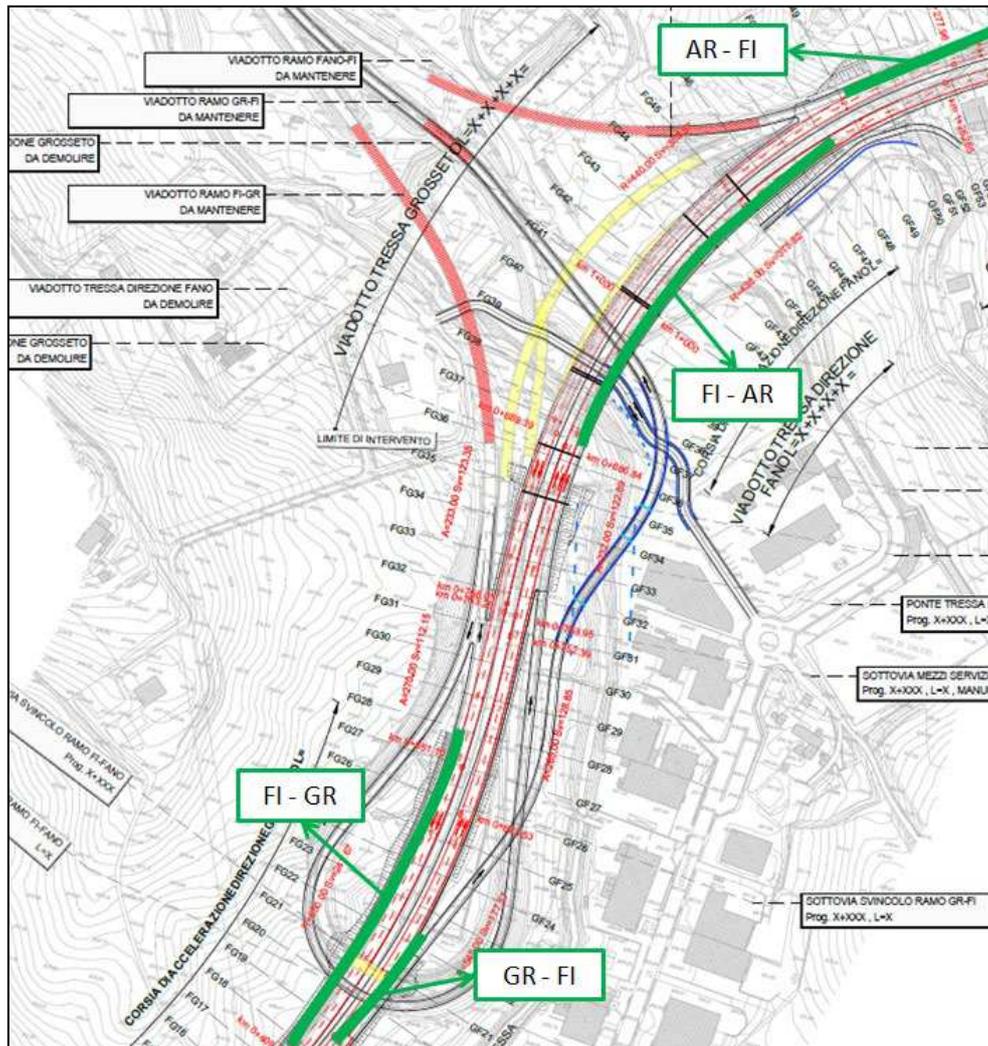


Figura 95 – Scenario SDP: elementi analizzati svincolo di Cerchiaia

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Svincolo di Cerchiaia: Rampa FI-GR				Svincolo di Cerchiaia: Rampa FI-GR			
Corsia di immissione	L _A	395	m	Corsia di immissione	L _A	395	m
	V rampa	767	veic./h		V rampa	376	veic./h
	V principale	339	veic./h		V principale	173	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT rampa	10%			PT rampa	4%	
	ET rampa	1.5			ET rampa	1.5	
	PT principale	12%			PT principale	3%	
	ET principale	1.5			ET principale	1.5	
	V _p rampa	805.1	veic. eq./h		V _p rampa	403	veic. eq./h
	V _p principale	360.2	veic. eq./h		V _p principale	184.50	veic. eq./h
	D	3.7	veic/km		D	1.1	veic/km
	LdS	A			LdS	A	

Tabella 46 – SDP sv. Cerchiaia: dati di input e livelli di servizio rampa FI-GR

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Svincolo di Cerchiaia: Rampa FI-AR				Svincolo di Cerchiaia: Rampa FI-AR			
Corsia di immissione	L _A	321	m	Corsia di immissione	L _A	321	m
	V rampa	382	veic./h		V rampa	387	veic./h
	V principale	358	veic./h		V principale	487	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT rampa	12%			PT rampa	5%	
	ET rampa	150%			ET rampa	1.5	
	PT principale	10%			PT principale	1%	
	ET principale	1.5			ET principale	1.5	
	V _p rampa	404.4	veic. eq./h		V _p rampa	417	veic. eq./h
	V _p principale	376.8	veic. eq./h		V _p principale	516.36	veic. eq./h
	D	2.9	veic/km		D	3.7	veic/km
	LdS	A			LdS	A	

Tabella 47 – SDP sv. Cerchiaia: dati di input e livelli di servizio rampa FI-AR

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Svincolo di Cerchiaia: Rampa AR-FI				Svincolo di Cerchiaia: Rampa AR-FI			
Corsia di diversione	L _D	410	m	Corsia di diversione	L _D	410	m
	V rampa	763	veic./h		V rampa	475	veic./h
	V principale	1102	veic./h		V principale	648	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT rampa	13%			PT rampa	5%	
	ET rampa	1.5			ET rampa	1.5	
	PT principale	12%			PT principale	4%	
	ET principale	1.5			ET principale	1.5	
	V _p rampa	812.2	veic. eq./h		V _p rampa	511.5	veic. eq./h
	V _p principale	1166.1	veic. eq./h		V _p principale	695.2	veic. eq./h
	D	1.3	veic/km		D	-1.2	veic/km
	LdS	A			LdS	A	

Tabella 48 – SDP sv. Cerchiaia: dati di input e livelli di servizio rampa AR-FI

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Svincolo di Cerchiaia: Rampa GR-FI				Svincolo di Cerchiaia: Rampa GR-FI			
Corsia di diversione	L _D	208	m	L _D	208	m	
	V rampa	740	veic./h	V rampa	1050	veic./h	
	V principale	1097	veic./h	V principale	1537	veic./h	
	PHF	1		PHF	1		
	f _p	1		f _p	0.95		
	PT rampa	13%		PT rampa	4%		
	ET rampa	1.5		ET rampa	1.5		
	PT principale	12%		PT principale	3%		
	ET principale	1.5		ET principale	1.5		
	V _p rampa	787.3	veic. eq./h	V _p rampa	1129.0	veic. eq./h	
	V _p principale	1162.4	veic. eq./h	V _p principale	1644.3	veic. eq./h	
	D	5.0	veic/km	D	7.6	veic/km	
	LdS	A		LdS	B		

Tabella 49 – SDP sv. Cerchiaia: dati di input e livelli di servizio rampa GR-FI

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei flussi, in termini di veicoli totali, e dei livelli di servizio di ciascuna rampa esaminata per lo svincolo di Cerchiaia per lo scenario SDP.

SDP: LIVELLI DI SERVIZIO						
Svincolo	Elemento	Metodologia	VEN SERA		DOM SERA	
			Flussi	LdS	Flussi	LdS
CERCHIAIA	Rampa FI - GR	Immissione	767	A	376	A
	Rampa FI - AR	Immissione	382	A	387	A
	Rampa AR - FI	Diversione	763	A	475	A
	Rampa GR - FI	Diversione	740	A	1050	B

Tabella 50 – SDP: livelli di servizio svincolo di Cerchiaia

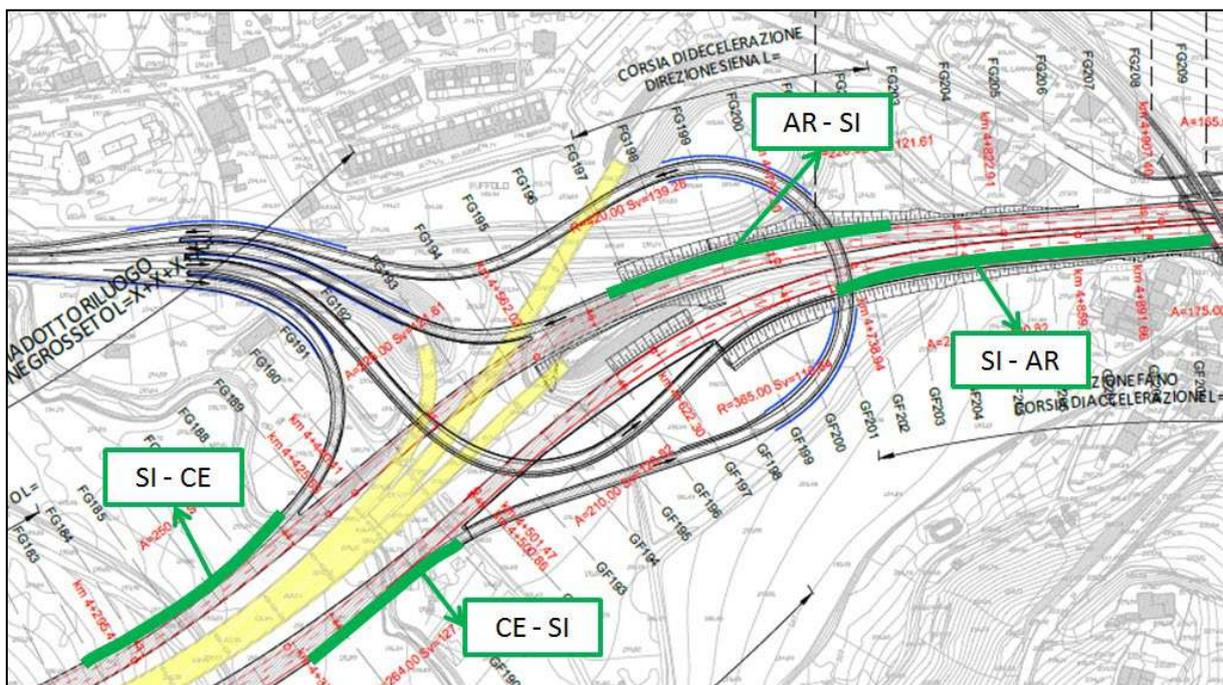


Figura 96 – Scenario SDP: elementi analizzati svincolo di Ruffolo

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Svincolo di Ruffolo: Rampa SI-AR				Svincolo di Ruffolo: Rampa SI-AR			
Corsia di immissione	L _A	297	m	Corsia di immissione	L _A	297	m
	V rampa	460	veic./h		V rampa	424	veic./h
	V principale	634	veic./h		V principale	811	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT rampa	8%			PT rampa	3%	
	ET rampa	1.5			ET rampa	1.5	
	PT principale	12%			PT principale	4%	
	ET principale	1.5			ET principale	1.5	
	V _p rampa	477.3	veic. eq./h		V _p rampa	452.2	veic. eq./h
	V _p principale	670.9	veic. eq./h		V _p principale	870.0	veic. eq./h
	D	5.0	veic/km		D	5.8	veic/km
	LdS	A			LdS	A	

Tabella 51 – SDP sv. Ruffolo: dati di input e livelli di servizio rampa SI-AR

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Svincolo di Ruffolo: Rampa SI-CE				Svincolo di Ruffolo: Rampa SI-CE			
Corsia di immissione	L _A	262	m	Corsia di immissione	L _A	262	m
	V rampa	173	veic./h		V rampa	94	veic./h
	V principale	930	veic./h		V principale	554	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT rampa	10%			PT rampa	1%	
	ET rampa	1.5			ET rampa	1.5	
	PT principale	12%			PT principale	4%	
	ET principale	1.5			ET principale	1.5	
	V _p rampa	182.0	veic. eq./h		V _p rampa	99.6	veic. eq./h
	V _p principale	985.2	veic. eq./h		V _p principale	594.9	veic. eq./h
	D	5.6	veic/km		D	3.4	veic/km
	LdS	A			LdS	A	

Tabella 52 – SDP sv. Ruffolo: dati di input e livelli di servizio rampa SI-CE

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Svincolo di Ruffolo: Rampa CE-SI				Svincolo di Ruffolo: Rampa CE-SI			
Corsia di diversione	L _D	365	m	Corsia di diversione	L _D	365	m
	V rampa	105	veic./h		V rampa	63	veic./h
	V principale	740	veic./h		V principale	873	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT rampa	19%			PT rampa	2%	
	ET rampa	1.5			ET rampa	1.5	
	PT principale	12%			PT principale	4%	
	ET principale	1.5			ET principale	1.5	
	V _p rampa	115.0	veic. eq./h		V _p rampa	67.0	veic. eq./h
	V _p principale	783.0	veic. eq./h		V _p principale	936.5	veic. eq./h
	D	0.1	veic/km		D	0.9	veic/km
	LdS	A			LdS	A	

Tabella 53 – SDP sv. Ruffolo: dati di input e livelli di servizio rampa CE-SI

SDP VENERDI' SERA				SDP DOMENICA SERA			
Svincolo di Ruffolo: Rampa AR-SI				Svincolo di Ruffolo: Rampa AR-SI			
Corsia di diversione	L _D	163	m	Corsia di diversione	L _D	163	m
	V rampa	83	veic./h		V rampa	212	veic./h
	V principale	1013	veic./h		V principale	766	veic./h
	PHF	1			PHF	1	
	f _p	1			f _p	0.95	
	PT rampa	8%			PT rampa	3%	
	ET rampa	1.5			ET rampa	1.5	
	PT principale	10%			PT principale	3%	
	ET principale	1.5			ET principale	1.5	
	V _p rampa	86.1	veic. eq./h		V _p rampa	226.1	veic. eq./h
	V _p principale	1063.7	veic. eq./h		V _p principale	820.1	veic. eq./h
	D	5.3	veic/km		D	4.0	veic/km
	LdS	A			LdS	A	

Tabella 54 – SDP sv. Ruffolo: dati di input e livelli di servizio rampa AR-SI

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei flussi, in termini di veicoli totali, e dei livelli di servizio di ciascuna rampa esaminata per lo svincolo di Ruffolo per lo scenario SDP.

SDP: LIVELLI DI SERVIZIO						
Svincolo	Elemento	Metodologia	VEN SERA		DOM SERA	
			Flussi	LdS	Flussi	LdS
RUFFOLO	Rampa SI - AR	Immissione	460	A	424	A
	Rampa SI - CE	Immissione	173	A	94	A
	Rampa CE - SI	Diversione	105	A	63	A
	Rampa AR - SI	Diversione	83	A	212	A

Tabella 55 – SDP: livelli di servizio svincolo di Ruffolo

6.7 Confronto dei risultati

Dall'analisi svolta è possibile notare un sostanziale miglioramento della qualità della circolazione nella tratta stradale tra i due svincoli, ovvero il Lotto 0, nello scenario progettuale, registrando un livello di servizio A in entrambe le direzioni di marcia, rispetto al D dello stato attuale. Anche per le tratte stradali 1 e 3, a monte e a valle del Lotto 0, i livelli di servizio migliorano nello SDP del venerdì (passando da B ad A) mentre rimangono invariati nella domenica.

Tratta stradale	Metodologia SDF	Direzione	SDF VEN SERA		SDF DOM SERA		Metodologia SDP	Direzione	SDP VEN SERA		SDP DOM SERA	
			Flussi	LdS	Flussi	LdS			Flussi	LdS	Flussi	LdS
1 A monte dello svincolo di Cerchiaia	Carreggiate separate	Nord	765	A	1301	B	Carreggiate separate	Nord	1097	A	1537	B
		Sud	1062	B	417	A		Sud	1105	A	549	A
2 Tra i due svincoli	Carreggiata unica	-	1478	D	1488	D	Carreggiate separate	Est	740	A	873	A
						Ovest		1102	A	648	A	
3 A valle dello svincolo di Ruffolo	Carreggiate separate	Est	1034	B	1249	B	Carreggiate separate	Est	1095	A	1235	B
		Ovest	1011	B	743	A		Ovest	1013	A	766	A

Tabella 56 – Confronto livelli di servizio SDF e SDP tratte stradali

Per quanto riguarda le corsie di immissione e diversione si rileva un buon funzionamento degli elementi puntali esaminati nella configurazione di progetto, anche a fronte di un incremento di domanda.

Svincolo	Elemento	Metodologia SDF	SDF VEN SERA		SDF DOM SERA		Metodologia SDP	SDP VEN SERA		SDP DOM SERA	
			Flussi	LdS	Flussi	LdS		Flussi	LdS	Flussi	LdS
CERCHIAIA	Rampa FI - GR	Major merge area	739	-	243	-	Immissione	767	A	376	A
	Rampa FI - AR	Immissione	277	A	366	B	Immissione	382	A	387	A
	Rampa AR - FI	Diversione	520	B	409	A	Diversione	763	A	475	A
	Rampa GR - FI	Major diverge area	408	A	762	B	Diversione	740	A	1050	B

Svincolo	Elemento	Metodologia SDF	SDF VEN SERA		SDF DOM SERA		Metodologia SDP	SDP VEN SERA		SDP DOM SERA	
			Flussi	LdS	Flussi	LdS		Flussi	LdS	Flussi	LdS
RUFFOLO	Rampa SI - CE	Diversione	164	A	89	A	Immissione	173	A	94	A
	Rampa CE - SI	Immissione	100	A	60	A	Diversione	105	A	63	A
	Rampa CE - AR	Immissione	535	B	846	B	-	-	-	-	-
	Rampa AR - CE	Major diverge area	679	A	494	A	-	-	-	-	-
	Rampa SI - AR	-	-	-	-	-	Immissione	460	A	424	A
	Rampa AR - SI	-	-	-	-	-	Diversione	83	A	212	A

Tabella 57 – Confronto livelli di servizio SDF e SDP rampe

7 VERIFICA FUNZIONALE DELLA ROTATORIA

La verifica della capacità della rete di smaltire il traffico previsto negli scenari SDF e SDP prevede anche la verifica funzionale della rotatoria esistente limitrofa all'area d'intervento e soggetta a modifiche infrastrutturali.

In particolare, gli obiettivi sono:

- verificare che l'intersezione considerata sia in grado di smaltire i flussi di traffico previsti negli scenari di riferimento, nell'ora di punta serale del venerdì e della domenica;
- per tale intersezione, calcolare la capacità residua al fine di valutare se sia in grado di smaltire un eventuale ulteriore incremento di domanda;
- determinare alcuni indicatori di performances delle intersezioni, quali i tempi medi di attesa e la lunghezza delle code, al fine di valutare l'efficienza e l'efficacia dell'infrastruttura viaria.

7.1 L'intersezione analizzata

L'intersezione a rotatoria analizzata, indicata come INT 03, è situata tra la SP136 Traversa Romana Aretina, la SS73 Senese Aretina e la SS715 Siena-Bettolle.

Nella configurazione esistente essa è caratterizzata da una forma ovoidale, come mostra l'immagine sottostante: oltre ai 3 bracci principali è presente anche l'accesso diretto in rotatoria alla Caserma dei Vigili del Fuoco.



Figura 97 – SDF: layout rotatoria INT 03

Nella configurazione progettuale, invece, la rotatoria viene leggermente spostata più a sud-est e assume una forma circolare. Rispetto all'attualità, il ramo di ingresso in rotatoria della SS73 avrà un doppio attestamento al fine di evitare conflitti tra i veicoli che percorrono le nuove rampe di svincolo. Inoltre, ci sarà una rampa collegamento per i mezzi di emergenza dei Vigili del Fuoco diretti verso Siena, bypassando così la rotatoria.

tempo inferiore all'intervallo critico tg ;

- ogni veicolo di una corrente secondaria si inserisce in una corrente principale in un tempo compreso tra tg e $tg+tf$;
- N veicoli di una corrente secondaria si inseriscono in una corrente principale in un tempo compreso tra $tg+tf(N-1)$ e $tg+tfN$.

A partire dalle caratteristiche geometriche della rotatoria e dalla matrice completa della rotatoria (veicoli per ciascuna coppia di rami), GIRABASE calcola per ciascun ramo in ingresso:

- la riserva di capacità in percentuale e in veicoli/ora;
- i tempi medi e totali di attesa;
- la lunghezza media e massima della coda di veicoli.

Per utilizzare GIRABASE occorre una serie di informazioni per ciascuna rotatoria in esame. In particolare vengono forniti i seguenti dati.

a) **Dati preliminari** → viene fornita una descrizione della rotatoria e dei diversi rami in ingresso e uscita, nonché l'ambito di localizzazione, tra i seguenti disponibili:

- extraurbano;
- periurbano;
- urbano.

Tale ambito influenza i valori degli intervalli critici tg e tf .

b) **Dati geometrici** → per ciascun ramo della rotatoria occorre fornire:

- numero di direttrici;
- angoli di confluenza;
- raggio interno (R);
- larghezza della banda interna sormontabile (B_f);
- larghezza dell'anello centrale (LA);
- larghezza delle corsie di entrata (LE) e uscita (LS);
- dimensione delle isole spartitraffico (LI);
- pendenza in casi superiori al 3%;
- presenza di svolta a destra continua.

Nella seguente figura sono riportate le grandezze geometriche richieste.

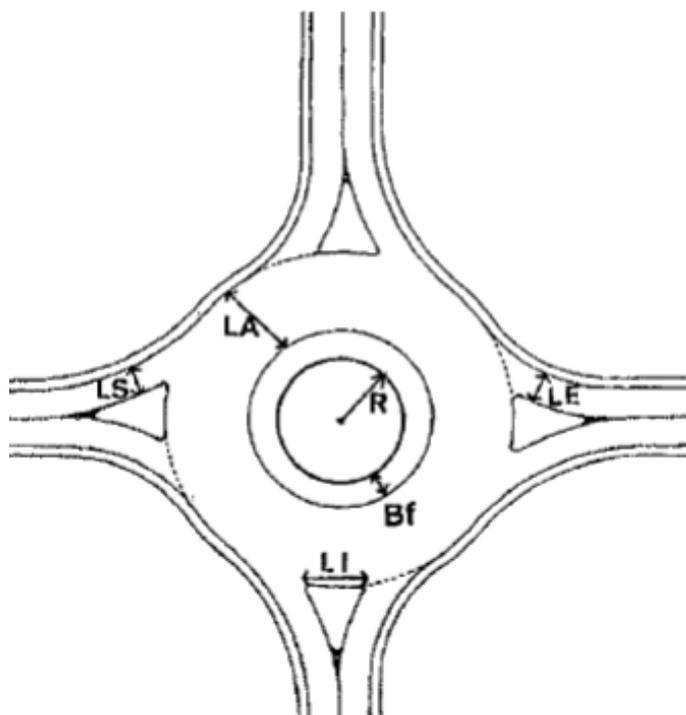


Figura 99 – Dati geometrici di una rotonda

c) **Dati di traffico** → viene fornita la matrice del nodo, indicando il numero di veicoli entranti da ciascun ramo, disaggregati in funzione del ramo di uscita.

Per gestire le diverse categorie veicolari, GIRABASE suggerisce i seguenti coefficienti di equivalenza:

- 1 → **Autovetture, veicoli commerciali leggeri e motocicli;**
- 2 → **Veicoli commerciali pesanti.**

In funzione dei suddetti dati, GIRABASE calcola la capacità di un ramo in ingresso, considerando il disturbo provocato da coloro che escono nello stesso ramo (in quanto il conducente non sempre arriva a determinare se i veicoli sull'anello intendono lasciare la rotonda), dagli attraversamenti pedonali e soprattutto dai veicoli che circolano nell'anello davanti al loro ingresso, cui devono dare la precedenza. Oltre alla riserva di capacità, vengono calcolati i tempi di attesa e le lunghezze delle code.

GIRABASE suggerisce anche come interpretare i dati forniti dal modello. Innanzitutto, valutando la riserva di capacità di ciascun ramo, espressa in percentuale, si considera che:

- se la riserva di capacità è superiore all'80% per tutti i rami in ingresso, la rotonda non è giustificata;
- se tutti i rami hanno una riserva di capacità superiore al 50%, la dimensione dell'anello della rotonda può essere ridotto;
- se la riserva di capacità per un ramo è superiore al 50%, è possibile ipotizzare un sovradimensionamento dello stesso;
- se la riserva di capacità per un ramo è compresa tra il 5% ed il 20%, è prevedibile la formazione di code, più o meno lunghe. In questo caso è importante verificare se tali code possano propagarsi ad intersezioni vicine (inferiori ai 100 m), rendendo critica anche l'uscita da tali intersezioni;
- se la riserva di capacità per un ramo è inferiore al 5% o addirittura negativa, è presumibile la formazione di code importanti, di saturazione e di progressivo blocco della rotonda, e di

conseguenza è richiesta una riprogettazione della rotatoria.

Tra gli interventi suggeriti vi sono:

- allargamento del ramo di ingresso, ad esempio mediante la realizzazione di doppi attestamenti;
- allargamento dell'isola spartitraffico, che quanto meno riduce la perturbazione dei veicoli che escono nello stesso ramo in analisi;
- allargamento della larghezza dell'anello, che consente un più facile inserimento in rotatoria.

Per quanto riguarda i tempi di attesa, questi indicano se la durata della fermata degli automobilisti rimane accettabile, e, come somma, forniscono il tempo speso dalla collettività a causa della rotatoria, consentendone anche una valutazione economica.

Infine, per quanto riguarda la lunghezza delle code, l'informazione è importante soprattutto al fine di verificare l'eventuale influenza che una coda su una rotatoria può avere su ulteriori intersezioni a monte della stessa. In questo caso, l'ambito di localizzazione può consentire di migliorare l'interpretazione dei risultati, secondo quanto di seguito riportato:

- in ambito urbano è più tollerabile la formazione di code, soprattutto nelle ore di picco, e non sempre è possibile aumentare la capacità della rotatoria;
- in ambito periurbano, la formazione di code con una certa regolarità risulta meno accettabile che in ambito urbano;
- in ambito extraurbano, la formazione di code, anche se occasionale, può costituire un pericolo per i veicoli in avvicinamento ed è quindi ancora meno accettabile.

7.3 I risultati delle verifiche funzionali

In questo capitolo vengono riportati i risultati delle verifiche funzionali della rotatoria precedentemente descritta per gli scenari SDF e SDP nell'ora di punta serale del venerdì e della domenica.

In particolare vengono illustrati i dati geometrici e di domanda necessari per la verifica funzionale ed i risultati di tale verifica riferiti a ciascun ramo.

Tali risultati sono espressi in termini di:

- Riserva di capacità in veicoli/ora (Réserve de Capacité en uvp/h);
- Riserva di capacità percentuale (capacità - veicoli entranti)/capacità (Réserve de Capacité en %);
- Lunghezza media di stoccaggio veicoli (Longueur de Stockage moyenne);
- Lunghezza massima di stoccaggio veicoli, imputati nel modello (Longueur de Stockage maximale);
- Tempi medi di attesa [sec] (Temps d'Attente moyen);
- Tempi totali di attesa [h] (Temps d'Attente total).

Al fine di rendere maggiormente leggibili i risultati della verifica statica sulla rotatoria viene riportata una tabella di legenda.

termine	significato
carrefour	intersezione
nom du carrefour	nome della rotonda
localisation	posizione geografica
Environment	condizioni ambiente circostante (urbano, suburbano, aperta campagna)
Anneau	corona giratoria
Rayon de l'îlot infranchissable	raggio dell'isola centrale non sormontabile
largeur de la bande franchissable	larghezza della banda sormontabile
largeur de l'anneau	larghezza della corona giratoria
Rayon extérieur du giratorie	raggio esterno della rotonda (somma delle 3 precedenti grandezze)
Branches	rami in ingresso/uscita (bracci)
Angle (degres)	angolo geometrico tra i vari rami (gradi sessagesimali)
Rampe	pendenza rami accesso (indica se inferiore o superiore a 3%)
Turne a droite	corsia di svolta diretta a destra (si/no)
laergeurs Entree	larghezza corsia di ingresso misurata a 4 m dalla linea di dare la precedenza
laergeurs Ilot	larghezza base triangolo spartitraffico (misurata lungo l'anello)
laergeurs sortie	larghezza corsia di uscita dalla rotonda
entrant	veicoli in ingresso dal ramo n
sortant	veicoli in uscita nel ramo n
reserve de capacité en uvp/en %	riserva di capacità in veicoli equivalenti/in percentuale
longueur de Stocage moienne/maximale	lunghezza degli accodamenti medi e massimi (misurati in numero di auto)
Temps d'attente moienne/maximale	ritardo medio/massimo per il transito nella rotonda

Tabella 58 – Glossario GIRABASE

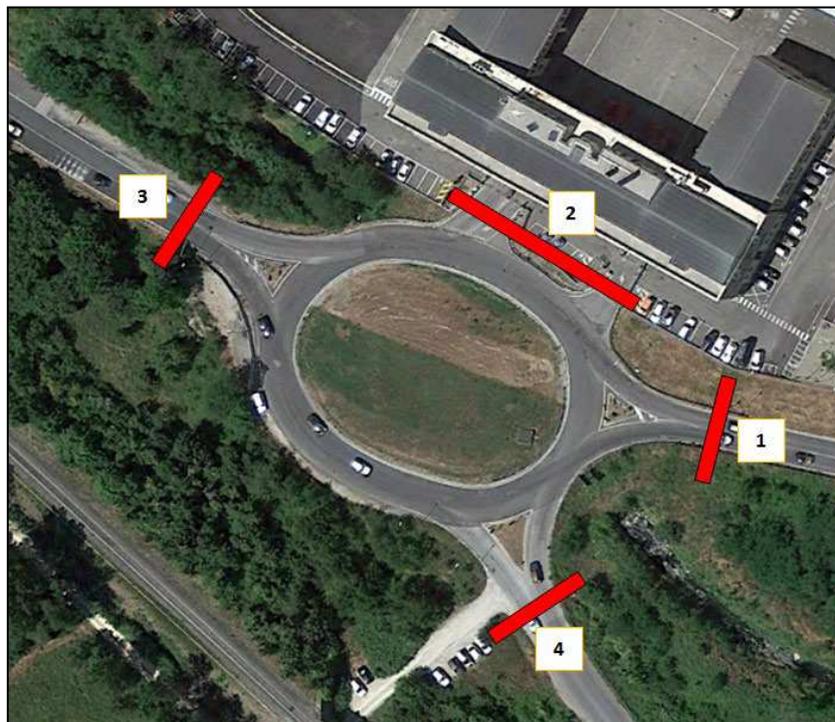


Figura 100 – Rotatoria INT 03

Di seguito si riportano le matrici o/d distinte per tipologia di veicoli (leggeri e pesanti) per entrambi gli scenari SDF e SDP del venerdì e della domenica sera.

SDF_VEN_LEG	1	2	3	4	TOT
1	0	0	309	88	397
2	0	0	0	0	0
3	482	0	0	208	690
4	131	0	168	0	299
TOT	613	0	477	296	1386

SDF_VEN_PES	1	2	3	4	TOT
1	0	0	27	8	35
2	0	0	0	0	0
3	39	0	0	8	47
4	11	0	7	0	18
TOT	50	0	34	16	100

Tabella 59 – SDF venerdì sera: matrici rotonda INT 03 [veicoli leggeri e pesanti]

SDF_DOM_LEG	1	2	3	4	TOT
1	0	0	241	59	300
2	0	0	0	0	0
3	404	0	0	45	449
4	76	0	96	0	172
TOT	480	0	337	104	921

SDF_DOM_PES	1	2	3	4	TOT
1	0	0	6	2	8
2	0	0	0	0	0
3	11	0	0	1	12
4	2	0	2	0	4
TOT	13	0	8	3	24

Tabella 60 – SDF domenica sera: matrici rotatoria INT 03 [veicoli leggeri e pesanti]

SDP_VEN_LEG	1	2	3	4	TOT
1	0	0	121	48	169
2	0	0	0	0	0
3	439	0	0	218	657
4	135	0	177	0	312
TOT	574	0	298	266	1138

SDP_VEN_PES	1	2	3	4	TOT
1	0	0	14	5	19
2	0	0	0	0	0
3	45	0	0	9	54
4	14	0	7	0	21
TOT	59	0	21	14	94

Tabella 61 – SDP venerdì sera: matrici rotatoria INT 03 [veicoli leggeri e pesanti]

SDP_DOM_LEG	1	2	3	4	TOT
1	0	0	216	55	271
2	0	0	0	0	0
3	425	0	0	48	473
4	80	0	125	0	205
TOT	505	0	341	103	949

SDP_DOM_PES	1	2	3	4	TOT
1	0	0	3	1	4
2	0	0	0	0	0
3	11	0	0	1	12
4	2	0	3	0	5
TOT	13	0	6	2	21

Tabella 62 – SDP domenica sera: matrici rotatoria INT 03 [veicoli leggeri e pesanti]

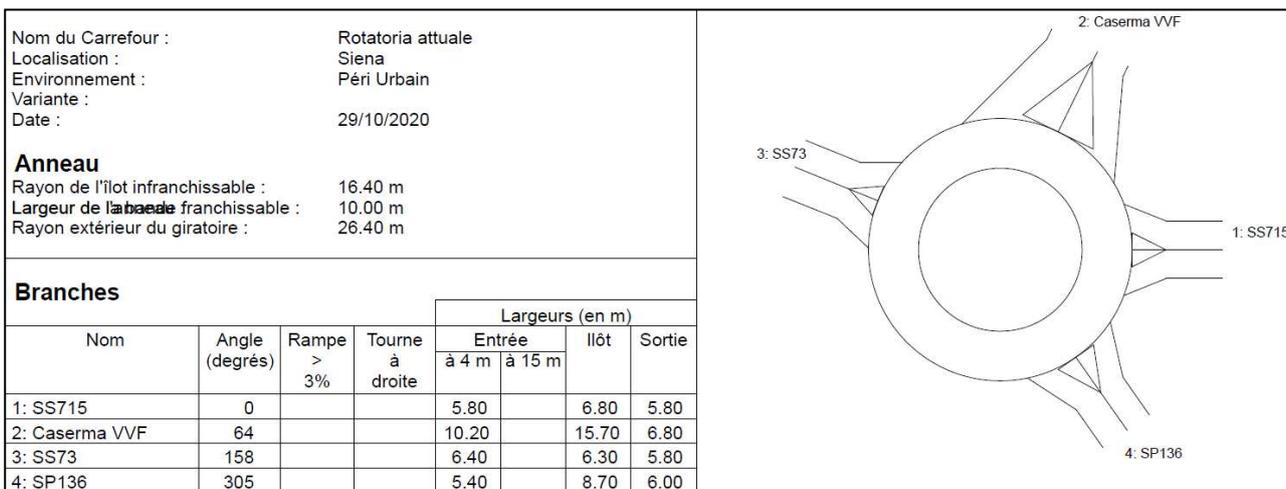


Figura 101 – SDF: caratteristiche geometriche rotatoria INT 03

Durante le ore di punta serali del venerdì e della domenica nei giorni di rilievo, non sono stati rilevati flussi in entrata e uscita dei mezzi di emergenza dalla caserma dei Vigili del Fuoco, pertanto il braccio B presenta flussi nulli.

Nello specifico, le rotatorie ovaloidi, nel software GIRABASE vengono rappresentate come rotatorie circolari, aventi raggio pari alla media del raggio maggiore e del raggio minore dell'ovaloido.

	1	2	3	4	Total Entrant
1	0	0	363	104	467
2	0	0	0	0	0
3	560	0	0	224	784
4	153	0	182	0	335
Total Sortant	713	0	545	328	1586

Tabella 63 – SDF venerdì sera: matrice rotatoria INT 03 [veicoli equivalenti]

	Réserve de Capacité		Longueur de Stockage		Temps d'Attente	
	en uvp/h	en %	moyenne	maximale	moyen	total
A: SS715	1758	79%	0vh	2vh	0s	0.0h
B: Caserma VVF	2067	100%	0vh	2vh	0s	0.0h
C: SS73	1794	70%	0vh	2vh	0s	0.0h
D: SP136	1108	77%	0vh	2vh	1s	0.1h

Tabella 64 – SDF venerdì sera: risultati rotatoria INT 03

	1	2	3	4	Total Entrant
1	0	0	253	63	316
2	0	0	0	0	0
3	426	0	0	47	473
4	80	0	100	0	180
Total Sortant	506	0	353	110	969

Tabella 65 – SDF domenica sera: matrice rotatoria INT 03 [veicoli equivalenti]

	Réserve de Capacité		Longueur de Stockage		Temps d'Attente	
	en uvp/h	en %	moyenne	maximale	moyen	total
A: SS715	2081	87%	0vh	2vh	0s	0.0h
B: Caserma VVF	2477	100%	0vh	2vh	0s	0.0h
C: SS73	2208	82%	0vh	2vh	0s	0.0h
D: SP136	1484	89%	0vh	2vh	0s	0.0h

Tabella 66 – SDF domenica sera: risultati rotatoria INT 03

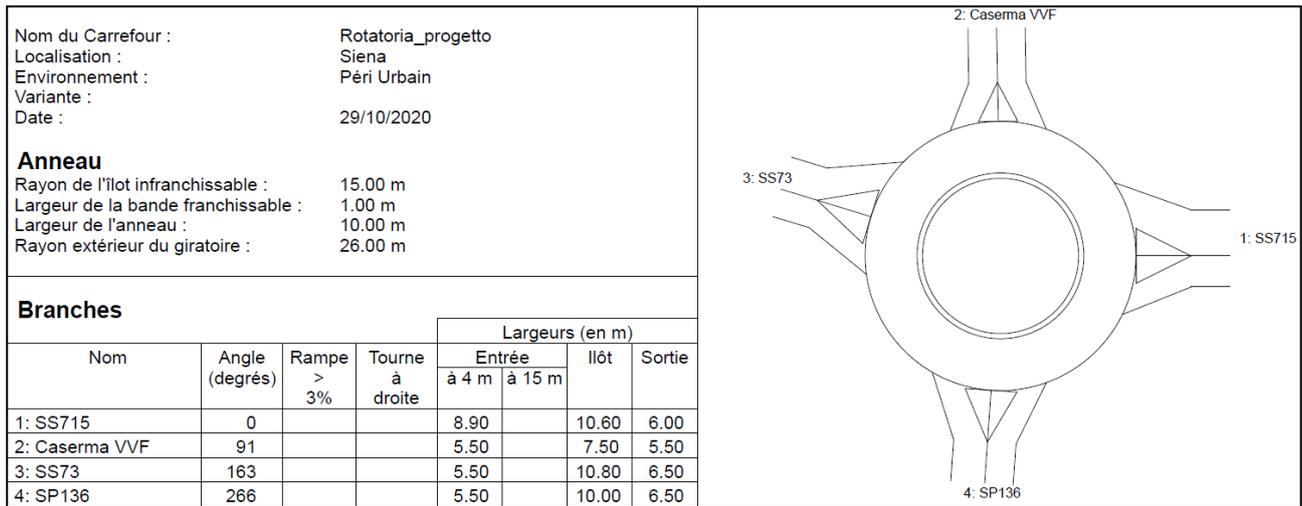


Figura 102 – SDP: caratteristiche geometriche rotatoria INT 03

	1	2	3	4	Total Entrant
1	0	0	149	58	207
2	0	0	0	0	0
3	529	0	0	236	765
4	163	0	191	0	354
Total Sortant	692	0	340	294	1326

Tabella 67 – SDP venerdì sera: matrice rotatoria INT 03 [veicoli equivalenti]

	Réserve de Capacité		Longueur de Stockage		Temps d'Attente	
	en uvp/h	en %	moyenne	maximale	moyen	total
A: SS715	2897	93%	0vh	2vh	0s	0.0h
B: Caserma VVF	1793	100%	0vh	2vh	0s	0.0h
C: SS73	1645	68%	0vh	2vh	0s	0.0h
D: SP136	1291	78%	0vh	2vh	0s	0.0h

Tabella 68 – SDP venerdì sera: risultati rotatoria INT 03

	1	2	3	4	Total Entrant
1	0	0	222	57	279
2	0	0	0	0	0
3	447	0	0	50	497
4	84	0	131	0	215
Total Sortant	531	0	353	107	991

Tabella 69 – SDP domenica sera: matrice rotatoria INT 03 [veicoli equivalenti]

	Réserve de Capacité		Longueur de Stockage		Temps d'Attente	
	en uvp/h	en %	moyenne	maximale	moyen	total
A: SS715	2962	91%	0vh	2vh	0s	0.0h
B: Caserma VVF	1774	100%	0vh	2vh	0s	0.0h
C: SS73	1915	79%	0vh	2vh	0s	0.0h
D: SP136	1552	88%	0vh	2vh	0s	0.0h

Tabella 70 – SDP domenica sera: risultati rotatoria INT 03

Come si può notare, le verifiche capacitive mostrano come la rotatoria presente nella rete di studio sia in grado di smaltire i flussi attesi, lasciando in ogni caso ottime riserve di capacità. Difatti è prassi considerare una rotatoria al limite capacitivo quando ha i rami con capacità residua inferiore al 20%: negli scenari considerati non si scende mai al di sotto del 50%.

Nell'ora di punta del venerdì, il flusso che circola in rotatoria, espresso in termini di veicoli equivalenti, subisce una diminuzione del 17% a causa dell'aumento di performance del Lotto 0 (incremento di velocità e doppia corsia per senso di marcia) che genera uno scarico dello svincolo di Ruffolo, direttamente connesso alla rotatoria in esame, mentre, nell'ora di punta della domenica, si ha un aumento dei flussi del 3% circa dovuto principalmente al tasso di crescita considerato: questo avviene perché in tale ora il flusso circolante nella rete è nettamente inferiore e non vi è presenza di situazioni di congestione rispetto al venerdì: pertanto la domenica non si generano forti variazioni dei percorsi.

Si nota, inoltre, un aumento della riserva di capacità nel ramo A (SS73) nello SDP dovuto alla presenza del doppio attestamento, a discapito di un sostanziale mantenimento della riserva di capacità sugli altri rami.

ODP	SCENARIO	MATRICE [veic]	RISERVA DI CAPACITA' DI RAMO [%]				VALORE MINIMO
			A	B	C	D	
VEN	SDF	1586	79%	100%	70%	77%	70%
	SDP	1326	93%	100%	68%	78%	68%
DOM	SDF	969	87%	100%	82%	89%	82%
	SDP	991	91%	100%	79%	88%	79%

Tabella 71 – Risultati di sintesi delle riserve capacitive della rotatoria

8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Questo studio trasportistico è stato redatto al fine di determinare l'impatto sulla viabilità esistente in relazione al potenziamento dell'attuale SS223 nel tratto compreso tra gli svincoli di Cerchiaia, a ovest, e di Ruffolo, a est, in prossimità del comune di Siena, al fine di adeguare tale infrastruttura, facente parte del più ampio itinerario europeo E78 che collega trasversalmente il territorio italiano da Grosseto a Fano.

Per la ricostruzione dello scenario attuale di traffico è stata condotta una campagna di rilievo, con conteggi di traffico manuali, nell'area prossima all'intervento per le ore di punta serali del venerdì e della domenica. Trovandoci in una situazione straordinaria dovuta all'emergenza sanitaria legata al Covid-19, tali dati sono stati integrati da altre tipologie di misure, provenienti da fonti terze quali l'ANAS, il Comune di Siena e il PUMS, e soprattutto da dati FCD i quali sono stati opportunamente espansi all'intera rete stradale in esame.

Per la ricostruzione dello scenario progettuale, i flussi di traffico sono stati incrementati implementando un tasso di crescita pari all'1% annuo, secondo le indicazioni descritte nel PRIIM (Piano Regionale Integrato Infrastrutture e Mobilità) della Regione Toscana del 2014, considerando come orizzonte temporale di riferimento il 2025, anno di entrata in esercizio dell'infrastruttura. Dal punto di vista infrastrutturale, sono state inserite le modifiche geometriche degli svincoli di Cerchiaia e Ruffolo e della tratta stradale del Lotto 0 compresa tra essi, nonché l'intervento programmatico della Nuova Cassia.

Le analisi effettuate sono state condotte per entrambi gli scenari di riferimento, SDF e SDP, per le ore di punta serale del venerdì e della domenica.

Lo studio si basa su un modello di simulazione a scala macroscopica, VISUM, esteso all'intero territorio provinciale senese, il quale permette di definire i flussi di traffico attesi sulla viabilità presa in esame: in particolare si sono analizzati lo scenario attuale SDF e quello progettuale SDP per le suddette ore di punta serali. Il modello ha permesso di ottenere un quadro generale delle performances dell'intera rete stradale: in particolare, si sono determinati i livelli di servizio, in termini di rapporti flusso/capacità, per ogni arco stradale e si sono confrontati gli output degli scenari SDF e SDP. Un altro importante risultato ottenuto da VISUM riguarda i flussogrammi differenza che mostrano, in maniera immediata, come cambia il carico di domanda sulla rete stradale da uno scenario all'altro, dando una misura quantitativa dell'utilità del Lotto 0.

Nella seconda fase dell'analisi, si è impiegato un modello a scala microscopica, VISSIM, che permette di definire i flussi di traffico attesi sulla viabilità presa in esame: in particolare, tale modello ha permesso di individuare una serie di parametri di sintesi, che hanno evidenziato nello scenario progettuale un miglioramento significativo delle performances generali della rete e una generale riduzione degli accodamenti in prossimità dell'intervento, ad esempio nella rotatoria a servizio dello svincolo di Ruffolo.

Sono state eseguite verifiche funzionali sulle tratte stradali che compongono il Lotto 0 e sulle diverse rampe degli svincoli di Cerchiaia e di Ruffolo tramite le metodologie previste dall'HCM differenziate rispetto alla tipologia di elemento stradale da analizzare: tramite la determinazione del livello di servizio si è evidenziata nello scenario progettuale una buona qualità di circolazione sia per il venerdì che per la domenica.

La capacità della rete viaria è stata esaminata, infatti, anche effettuando un'analisi sui fenomeni di accodamento che si vengono a creare in corrispondenza degli attestamenti nella rotatoria a servizio dello svincolo di Ruffolo: in particolare, alla fine delle simulazioni effettuate, sono state estratte le lunghezze medie delle code e si è notato come la realizzazione del Lotto 0 comporti solo un miglioramento sulle rampe potenziate a fronte di un sostanziale mantenimento delle performances sugli altri bracci. Tale situazione viene confermata anche dalle analisi statiche svolte con il software Girabase.

Da tutte le analisi condotte si può pertanto concludere che le infrastrutture viarie esistenti e di progetto sono in grado di supportare il carico veicolare previsto all'entrata in esercizio dell'infrastruttura di progetto, con un generale beneficio per la circolazione rispetto alla situazione attuale.